



Montre-moi comment tu bouges, je te dirai à quoi tu penses : vers une approche incarnée de la cognition sociale

François Quesque

► To cite this version:

François Quesque. Montre-moi comment tu bouges, je te dirai à quoi tu penses : vers une approche incarnée de la cognition sociale. Philosophie. Université Charles de Gaulle - Lille III, 2015. Français. NNT : 2015LIL30043 . tel-01283901

HAL Id: tel-01283901

<https://theses.hal.science/tel-01283901>

Submitted on 7 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Charles-de-Gaulle, Lille 3
Ecole Doctorale SHS, Lille Nord-de-France
UFR Psychologie
Laboratoire SCALab

Montre-moi comment tu bouges,
je te dirai à quoi tu penses:
vers une approche incarnée de la cognition sociale

Thèse présentée en vue de l'obtention du
Doctorat en Psychologie Cognitive

Par
François QUESQUE

Sous la direction du Professeur Yann COELLO

Composition du jury

Docteur Julie GREZES, Ecole Normale Supérieure (rapporteur)
Professeur Yves ROSSETTI, Université Lyon 1 (rapporteur)
Professeur Bernard RIME, Université catholique de Louvain
Professeur Natalie SEBANZ, Radboud University
Professeur Yann COELLO, Université Lille 3

Soutenue publiquement le 27 novembre 2015

“Das Du ist alter als das Ich”

(Le “tu” est plus vieux que le “je”)

Nietzsche, *Also Sprach Zarathustra*, 1883–1885

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier le Professeur Yann Coello, mon directeur de thèse, pour la confiance dont il a su me faire part et pour l'engouement qu'il a eu pour mes différents travaux. Merci également pour les conseils de dernières minutes qui ont assurément contribué au fait que je sois financé pour la totalité de ma thèse. Je ne sais pas si vous vous en souvenez mais, à la fin de mon master, j'hésitais sérieusement à entreprendre une thèse au sein du laboratoire URECA (devenu SCALab). Des discussions avec vos précédents thésards, j'étais arrivé à la conclusion que si je me montrais suffisamment autonome, j'arriverai à m'y épanouir. Le résultat est là et il s'avère sans équivoque, trois ans plus tard je n'ai pas regretté un seul instant mon choix. Il faut savoir travailler avec vous mais je pense sincèrement qu'on forme une bonne équipe ! Pour tout, merci.

Je remercie très sincèrement le Docteur Julie Grèzes et le Professeur Yves Rossetti d'avoir accepté de prendre de leur temps pour évaluer et apporter leur expertise à ce travail ainsi que le Professeur Natalie Sebanz et le Professeur Bernard Rimé de me faire le grand honneur de participer à mon jury.

Je tiens également à sincèrement remercier le Docteur Astrid Mignon. C'est en assistant à des enseignements de personnes passionnées et engagées, comme vous l'êtes, que je me suis enthousiasmé pour le métier d'enseignant-chercheur. C'est également sous votre impulsion que j'ai fait mes premiers pas au sein du laboratoire qui m'a finalement accueilli

pour la thèse. Le temps, les rencontres et les aléas de la vie m'ont éloigné de la psychologie sociale « pure et dure », comme en témoigne la majorité des travaux de ma thèse. Pour autant, vous restez et resterez une figure majeure dans la construction de la personne que je suis aujourd'hui.

Merci à Yvonne Delevoye et Daniel Lewkowicz pour les compétences qu'ils m'ont permis de développer dans l'étude de la cinématique des mouvements humains. Merci à nouveau à Daniel pour m'avoir initié à l'utilisation du Logiciel et Langage de programmation Matlab. Cette thèse ne serait pas la même sans vous avoir rencontré.

Merci au laboratoire SCALab, à l'école doctorale SHS Lille Nord-de-France, à « Lille Métropole Communauté Urbaine » et à l'Université Charles-De-Gaulle Lille 3, pour m'avoir soutenu financièrement pendant ces années et pour avoir cru en moi.

Merci à l'ensemble des membres du SCALab. Travailler parmi vous fut extrêmement stimulant et agréable. La pluridisciplinarité du laboratoire est une chance que j'ai appris à peser avec le temps. Que ce soit à travers les thématiques de recherche (Emotion, Langage,...) ou l'approche théorique (Clin d'œil à l'ancienne équipe DECA), je me suis épanoui parmi vous. Un merci particulier à François Gabrielli, Laurent Ott et Jean-Luc Bruyelle pour leur expertise et leur aide cruciale. Merci également à Amandine, Dominique, Fabien et Laurence. « Last but not least », Manu, merci pour ton expérience, ton investissement et ta bienveillance.

Un grand merci à tous les doctorants, post-docs, ATER, et « autres » de SCALab que j'ai eu la chance de connaître. Vous n'êtes pas mes collègues, vous êtes mes frangins, mes poteaux, mes copains, vous m'tenez chaud ! Il est difficile de tous vous citer mais au risque

d'en vexer certains, merci à Amandine, Anne-Sophie, Antoine, Arthur & Mike (mention spéciale à nos sciences clubs !), Audrey, Aurélien, Baudouin, Caroline, Cécile, Charlotte, Christelle, Cynthia, Daniel, Delphine F., Delphine R., Emilie A., Emilie C. (parce qu'on n'est pas des branlemich' !), Eve, Ewa, Francis, Gary, Guillaume, Jeremy, Julia, Julien, Justine, Karine & Xavier & Yannick (vous êtes mes phares !), Laurent D., Laurent O., Lucie, Margot, Mariama, Marie-Charlotte, Manu, Noelia, Olivia, Quentin, Sébastien, Stéphanie, Sohir et Valentina. Merci aux thésards pour la confiance que vous m'avez témoigné en m'élisant votre représentant auprès de nombreuses instances et que la tradition du Gorille-Cacahuète perdure de nombreuses années encore !

Merci ensuite à l'ensemble des enseignants que j'ai pu rencontrer pendant mon avant-thèse. Vous avez su très vite me passionner pour la psycho, toute la psycho. Enfin, et pour finir en beauté avec les relations développées à l'université, « mille » mercis au fantastique trio de doctorantes de Psitec qui m'a accompagné ces trois années. Faustine, Marine et Monika, tout le bien que je pense de vous ne peut raisonnablement pas être écrit dans un document en libre accès, je vous le dirai à l'oreille...

Merci aux très nombreux participants qui ont donné de leur temps pour passer mes expériences. Merci aux étudiants intrépides qui m'ont choisi pour encadrer leur mémoire ou leur stage. J'espère sincèrement qu'ils ont pu apprendre à mes côtés.

On quitte maintenant le monde du travail pour rentrer dans celui de mon intimité et, cher lecteur, vous ne m'en voudrez donc pas d'y être moins loquace et d'éviter les énumérations.

Merci à tous mes ami(e)s, de l'époque du collège (you know who you are !), du lycée, de Licence ou de Master. Je ne prends pas souvent de vos nouvelles et je ne réponds pas systématiquement « et toi ? » quand vous me demandez si ça va, pourtant sachez que je tiens à vous et que vous pouvez compter sur moi, même si vous êtes nuls en math. Vous êtes mon énergie et ma bonne humeur. Avec vous à mes côtés, tout devient possible !

Merci à la petite flingueuse de la rue de la soif pour les relectures mais surtout pour les moments partagés, les attentions et les découvertes.

Merci à Isabelle et Sarah pour ce que vous êtes.

Enfin, merci à ma famille pour avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui et pour inconditionnellement prendre mon parti lorsqu'on me cherche des noises. Papa, Maman, Pépé, Mémé, Mamie, et tous les autres, même si vous ne saurez peut être jamais vraiment ce sur quoi je travaille exactement, ni ce que je fabrique chaque jour, j'espère vous rendre fier.

Publications liées aux travaux de thèse

Articles dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture

Quesque, F., Mignon, A. & Coello, Y. (in prep). Two ways to express social intention: cooperative and competitive contexts modulate the effects of social intention on movement kinematics.

Quesque, F., Delevoye-Turrell, Y., & Coello, Y. (2015). Facilitation effect of observed motor deviants in a cooperative motor task: Evidence for direct perception of social intention in action. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, doi: 10.1080/17470218.2015.1083596.

Lewkowicz, D., Quesque, F., Coello, Y. & Delevoye-Turrell, Y., (2015). Individual differences in reading social intentions from motor deviants. *Frontiers in Psychology*, 6:1175. doi:10.3389/fpsyg.2015.01175.

Quesque, F., & Coello, Y. (2015). Perceiving what you intend to do from what you do: Evidence for embodiment in social interactions. *Socioaffective Neuroscience & Psychology*, 5(28602), doi: 10.3402/snp.v5.28602.

Quesque, F. and Coello, Y. (2014). For your eyes only: Effect of confederate's eye level on reach-to-grasp action. *Frontiers in Psychology*. 5:1407. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01407

Quesque, F., Lewkowicz, D., Delevoye-Turrell, Y., Coello, Y. (2013). Effects of social intention on movement kinematics in cooperative actions. *Frontiers in Neurorobotics*, 7:14, doi: 10.3389/fnbot.2013.00014

Communications orales à des congrès internationaux

Quesque, F. & Coello, Y. (2015, Septembre). A sensorimotor approach of social cognition. *19th Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Paphos, Chypre.*

Quesque, F. & Coello, Y. (2015, Septembre). Perceiving social intention in motor actions at the second-person perspective. *"Motor perspectives on social interaction" symposium at the 6th International Conference on Spatial Cognition, Rome, Italie. (Conférence invitée)*

Quesque, F., Delevoye-Turrell, Y. & Coello, Y. (2014, décembre). You think therefore I know : Implicit perception of social intention in motor action. *forum du GDR-vision, Lyon, France.*

Quesque, F. & Coello, Y. (2014, juillet). Sharing intentions in peripersonal space. *"Peripersonal and interpersonal spaces in natural and virtual environments" symposium at the 28th International Congress of Applied Psychology, Paris, France.*

Communications orales à des congrès nationaux

Quesque, F. & Coello, Y. (2015, septembre). Percevoir l'intention d'autrui dans ses mouvement : vers une approche incarnée de la cognition sociale. *56^{ème} Congrès de la Société Française de Psychologie, Strasbourg, France. (Conférence invitée)*

Quesque, F. & Coello, Y. (2014, juin). Montre-moi comme tu bouges, je te dirai ce que tu penses : percevoir l'intention sociale d'autrui dans la cinématique de ses mouvements. *Workshop "TRACE", Montpellier, France.*

Quesque, F. & Coello, Y. (2014, juin). Ne m'approchez pas de si près : L'influence des capacités d'action sur la régulation des distances interpersonnelles. *IXe Journée Scientifique des Jeunes Chercheurs en Psychologie, Lille, France.*

Communications affichées à des congrès internationaux

Quesque, F., Delevoye-Turrell, Y. & Coello, Y. (2015, aout). Reading social intention in movement kinematics. *European Convention of Visual Perception, Liverpool, Royaume-Uni.*

Quesque, F., Delevoye-Turrell, Y. & Coello, Y. (2015, mars). Show me how you move, I'll tell you what you think! Direct perception of social intention in motor action. *International Convention of Psychological Science, Amsterdam, Pays-bas.*

Quesque, F., Lewkowicz, D., Delevoye-Turrell, Y., Coello, Y. (2013, octobre). Placing for you or placing for me: Effects of social intention on unconstrained movement kinematics. *International Symposium "Vision, action and concepts: Behavioural and neural basis of embodied perception and cognition", Lille, France.*

Communications affichées à des congrès nationaux

Quesque, F., Lewkowicz, D., Delevoye-Turrell, Y., Coello, Y. (2013, septembre). Agir avec autrui : influence de l'intention sociale sur la cinématique de mouvements non-contraints. *55^{ème} Congrès de la Société Française de Psychologie, Lyon, France.*

Quesque, F., Lewkowicz, D., Delevoye-Turrell, Y., Coello, Y. (2013, juin). Agir en présence d'autrui : influences sociales sur la cinématique de mouvements non-contraints. *VIIIe Journée Scientifique des Jeunes Chercheurs en Psychologie, Lille, France.*

Sommaire

Publications liées aux travaux de thèse	9
Sommaire	15
Introduction générale.....	19
INTRODUCTION	25
1. Agir parmi ses congénères	27
1.1. L’Homme : un individu social par excellence	27
1.2. Définition et émergence de la cognition sociale	29
1.3. L’empathie, un concept multi-référentiel.....	40
2. Théorie de l’esprit, Mentalisation et « Mind-reading »	43
2.1. Définition et caractéristiques principales	43
2.2. Processus impliqués dans la mentalisation.....	47
2.3. Les bases neurales de la mentalisation.....	51
3. Lire l’intention d’autrui à partir de ses actions.....	61
3.1. Détecter l’intention d’autrui à partir de la forme de ses mouvements	61
3.2. Peut-on détecter toutes les formes d’intention ?	65
3.3. Arguments expérimentaux permettant de reconsidérer ces limites.....	68
4. Des challenges méthodologiques à surmonter	75

4.1. Isoler l'intention sociale de l'intention motrice	75
4.2. Un changement de perspective nécessaire pour parler de lecture d'intention	76
5. Problématique générale de la thèse	81

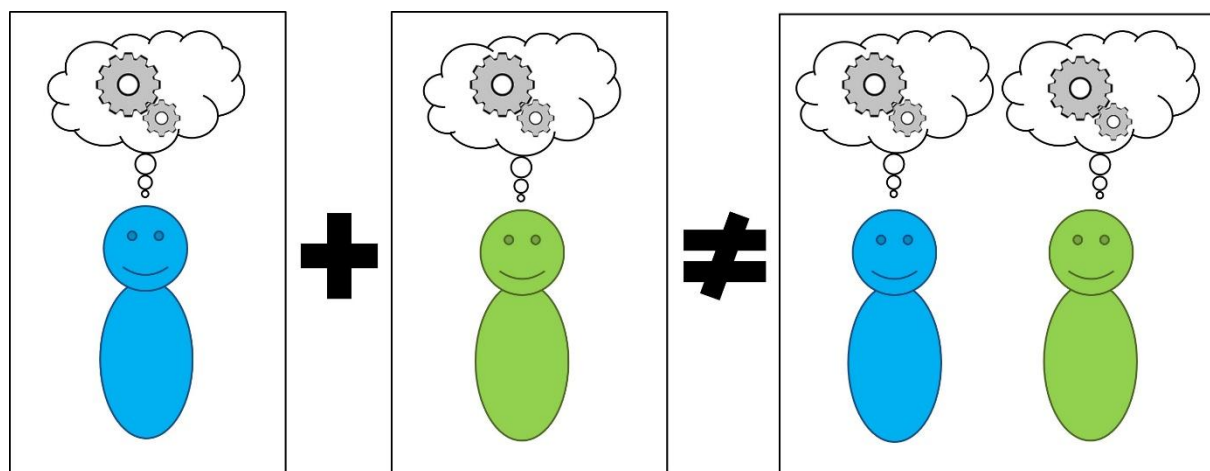
PARTIE EXPÉRIMENTALE.....83

Préambule.....	85
Methodologie générale de la thèse	85
Présentation de la partie expérimentale.....	90
Etude 1:	93
Effects of social intention on movement kinematics in cooperative actions	93
Abstract	93
Introduction	95
Materials and methods	100
Discussion	117
Etude 2:	125
For your eyes only: Effect of confederate's eye level on reach-to-grasp action	125
Abstract	125
Introduction	127
Material and Methods.....	130
Results	135
Discussion	138
Etude 3:	145
Facilitation effect of observed motor deviants in a cooperative motor task: Evidence for direct perception of social intention in action	145

Abstract	145
Introduction	147
Material and methods	151
Results	157
Discussion	162
Etude 4:	169
Individual differences in reading social intentions from motor deviants	169
Abstract	169
Introduction	171
Materials and methods	177
Results	185
Discussion	187
Materials and methods	189
Results	193
Discussion	194
General Discussion.....	196
DISCUSSION	201
1. Rappel des objectifs et synthèse des résultats	203
2. Arguments en faveur d'une approche incarnée de la cognition sociale	209
3. Un retour aux conceptions comportementalistes ?	212
4. Deux niveaux de cognition sociale.....	215
5. Perspectives de recherches	217
5.1 Perspectives théoriques	218

5.2. Applications	221
REFERENCES	223
ANNEXES	253
RESUME	266
ABSTRACT.....	266

Introduction générale



En tant que membre d'une espèce animale éminemment sociale (voir chapitre 1.1. de l'introduction), il est crucial pour chacun d'entre nous de pouvoir accéder aux pensées des personnes qui nous entourent et de pouvoir anticiper, avec précision, les actions qu'elles s'apprêtent à réaliser. La prise en compte des états mentaux d'autrui permet ainsi non seulement de communiquer de manière intelligible, mais également d'adapter nos comportements au contexte dans lequel nous nous trouvons pour favoriser les interactions sociales (Hamilton, 2009; Sebanz & Knoblich, 2009). L'influence de la présence d'autres personnes sur le comportement est connue depuis un siècle environ et a été d'ailleurs l'un des enjeux majeurs de la psychologie sociale. Toutefois, dans le champ de la psychologie cognitive et son appropriation récente des méthodes et outils des neurosciences, les processus mentaux, cognitifs et comportementaux ont été majoritairement explorés du point de vue de l'individu en contexte isolé (Becchio, Sartori, & Castiello, 2010). Cet appauvrissement

volontaire du contexte d'étude en psychologie présente l'avantage d'offrir un haut niveau de contrôle sur les variables manipulées et constitue ainsi une étape importante dans l'investigation scientifique des comportements et des processus cognitifs associés. Cependant, appréhender le comportement humain en environnement appauvri ne permet pas d'étudier en profondeur les situations d'interaction et l'influence des contraintes physiques et sociales sur les comportements individuels. Prenant racine dans les résultats expérimentaux prodigués par la psychologie sociale, une nouvelle perspective de recherche a de ce fait émergée ces dernières années en psychologie cognitive. Celle-ci consiste à investiguer, en laboratoire, les comportements d'individus engagés dans des situations d'interactions sociales. Comme le soulignent Gallotti et Frith (2013), ce renouveau scientifique a d'importantes implications pour la compréhension des aptitudes humaines sur le plan de la perception, de la cognition et de la communication. Selon ces auteurs, les individus engagés dans des interactions sociales pourraient atteindre un niveau de compréhension des comportements et buts poursuivis par d'autres personnes bien supérieur à celui auquel ils seraient parvenus sur la base d'une simple situation d'observation. Par ailleurs, repositionner l'individu dans un contexte social pourrait avoir des répercussions majeures sur la façon dont est théorisée la cognition en général¹.

Adapter nos comportements aux contraintes sociales requière un certain nombre de processus cognitifs regroupés sous le terme générique de « cognition sociale » (voir chapitre 1.2. de l'introduction). Ainsi, on observe une tendance naturelle à suivre la direction du regard

¹ L'approche incarnée de la cognition, par exemple, postule que les processus mentaux reposent sur les états corporels, les systèmes de la perception et de l'action, et les possibilités d'actions offertes par l'environnement (Barsalou, 2008).

d'autrui, ainsi qu'à orienter de façon privilégiée notre attention vers les objets qui sont regardés par d'autres individus. Précisément, en présence d'une autre personne, nous adoptons spontanément son point de vue sur le monde. Nous nous mettons à percevoir naturellement l'environnement et ses opportunités comportementales depuis la perspective de cette personne (Costantini & Sinigaglia, 2012). La présence d'autrui ne modifie pas uniquement nos capacités perceptives (voir chapitre 1.2.2. de l'introduction). Plusieurs résultats suggèrent également l'existence d'un phénomène d'imitation automatique des comportements observés. Ainsi, interagir avec une autre personne nous amène souvent à imiter sans nous en rendre compte les comportements de cette personne (effet caméléon). D'autre part, il est envisagé que les processus sensori-moteurs automatiques impliqués dans l'imitation sous-tendraient les capacités d'inférence des états mentaux. A travers l'intériorisation des comportements observés, les interactions motrices en contexte social possèderaient ainsi une fonction communicative en permettant de ressentir à la première personne les états mentaux d'autres personnes. Ce point de vue est défendu par les tenants de la théorie incarnée de la cognition sociale (voir chapitre 2.2. de l'introduction), parfois également nommée « interaction theory » ou théories de la perception directe. Selon celles-ci, il n'est pas nécessaire de recourir à des inférences pour accéder à l'état mental d'une autre personne. Les informations perceptives et motrices disponibles en situation d'interaction sociale permettraient, à elles seules, l'accès aux émotions et intentions d'autrui à travers une série de mécanismes de résonance. Dit autrement, ce n'est pas sur la base de déductions rationnelles effectuées à partir de nos connaissances en mémoire que nous pourrions accéder aux états-mentaux d'autrui. Lors de l'observation d'autrui en train d'agir, nous serions spontanément amené à éprouver un état moteur similaire au sien et c'est à travers l'expérience directe de cet état que nous pourrions accéder à ses états-mentaux.

Bien que de nombreuses études suggèrent qu'il est possible de discriminer les états mentaux d'autrui sur l'unique base de la simple observation des comportements moteurs (voir chapitre 3.1. de l'introduction), certaines limites ont été avancées à l'égard des théories incarnées de la cognition sociale (voir chapitre 3.2. de l'introduction). Classiquement, il est admis que l'approche incarnée de la cognition sociale permet de bien rendre compte des capacités d'anticipation des comportements manifestés par autrui ou encore du phénomène de contagion émotionnelle. Toutefois, il est suggéré que cette approche explique difficilement des capacités plus complexes, comme l'inférence de buts ou de croyances. Précisément, il est considéré que différents niveaux d'intentions sont subordonnés. Par exemple, l'intention d'aider son voisin à retrouver ses clés peut être envisagée à travers l'intention d'allumer la lumière de notre porche, elle-même menée à bien via l'intention motrice consistant à tendre le bras pour appuyer sur un interrupteur. Seule cette dernière, l'intention motrice, est directement associée à un comportement. Les intentions sociales (dans notre exemple, le fait de vouloir aider son voisin) peuvent, elles, être réalisées à l'aide de très nombreux comportements. A partir de ce constat, il a été suggéré que seules les intentions motrices peuvent être détectées sur la base des mouvements observés et qu'en aucun cas, il ne serait possible d'accéder à des niveaux plus abstraits d'intentionnalité (comme par exemple, aux intentions sociales guidant une action) sans posséder davantage d'informations sur les personnes observées.

Sur la base de récents travaux ayant permis de remettre en cause ces postulats (voir chapitre 3.3. de l'introduction), nous avons fait l'hypothèse qu'il était possible, à partir de l'observation des mouvements réalisés par d'autres individus, d'accéder à des niveaux d'intentionnalité plus abstraits que les intentions motrices. Afin d'en faire la démonstration, nous avons tout d'abord considéré les limites méthodologiques rencontrées dans la littérature

scientifique (voir chapitre 4 de l'introduction), dans le but de proposer un paradigme expérimental original permettant d'étudier, sans équivoque, l'influence des intentions sociales sur la cinématique de mouvements volontaires. Nous avons ensuite réalisé quatre études expérimentales, regroupant cinq expériences, évaluant si les variations cinématiques propres aux actions motrices volontaires permettent de différencier les différents niveaux d'intentions (études 1, 2 et 3) et si ces variations cinématiques permettent à l'observateur d'accéder aux intentions sociales des performances motrices observées (étude 3 et 4) pour favoriser la programmation d'actions complémentaires (étude 3).

Le document de thèse est organisé en trois parties. La première partie est une introduction permettant d'introduire et de discuter les concepts et théories servant de support au travail expérimental. Nous présentons dans un premier temps les caractéristiques de l'espèce humaine concernant les aptitudes sociales par rapport aux autres espèces du règne animal. Ensuite, nous évaluons comment les capacités perceptives et motrices humaines, à l'instar de celles d'autres espèces animales sociales, permettent d'optimiser les interactions sociales. Nous abordons ensuite la manière dont ces processus sensori-moteurs permettent l'émergence de la cognition sociale dite de haut-niveau comme la capacité à inférer des intentions ou des émotions à partir de l'observation de nos congénères. Nous présentons par la suite les différentes conceptions visant à expliquer les capacités d'attribution interpersonnelle d'états mentaux. Cette présentation nous conduit à introduire la conception incarnée de la cognition sociale, appréhendée comme conception théorique dominante, puis à discuter les critiques théoriques faites à son encontre. Enfin, nous décrivons en détail les études réalisées pour répondre aux critiques formulées et synthétisons les limites méthodologiques auxquelles celles-ci sont confrontées. A l'issue de cette introduction, le travail expérimental réalisé dans le cadre de cette thèse est présenté dans une seconde partie. Celle-ci est rédigée en anglais

puisque l'ensemble des travaux effectués dans le cadre de cette thèse sont aujourd'hui publiés dans des revues scientifiques internationales. Enfin, l'ensemble des résultats présentés dans ce manuscrit est discuté dans une troisième et dernière partie, avant de présenter les perspectives pour le futur.

INTRODUCTION

1. Agir parmi ses congénères

*« Dans le langage africain Bantu,
le mot UBUNTU signifie qu'une personne ne
devient une personne qu'à travers les autres. »*

Desmond Tutu, *New Scientist*, avril 2006

1.1. L'Homme : un individu social par excellence

Il est aujourd'hui considéré que toute forme de vie, des bactéries aux mammifères, est « sociale » dans le sens où - pour chacune d'elles - le comportement d'organismes isolés est influencé par le comportement environnant des organismes de la même espèce (Frank, 2007). D'impressionnantes capacités permettant le développement d'interactions sociales adaptées se sont développées au sein de nombreuses espèces animales (Hecht, Patterson & Barbey, 2012) bien que celles-ci soient très distantes les unes des autres du point de vue phylogénétique. Ainsi, il a été observé, par exemple, de remarquables capacités de communication chez les abeilles (Leadbeater & Chittka, 2007) et l'existence de comportements de coopération pour l'entretien d'une même toile chez certaines espèces grégaires d'araignées (Jackson, 2007). Même au sein d'espèces dites « non-sociales » (où les individus vivent majoritairement isolés les uns des autres), on observe une influence du comportement des congénères sur les comportements individuels. Chez la tortue charbonnière à pattes rouges (Wilkinson, Kuenstner, Mueller & Huber, 2010), par exemple, il a été démontré que l'observation du comportement des congénères bénéficiait aux comportements individuels de navigation.

Par comparaison à la vaste majorité des espèces animales, les humains occupent une place particulière en ce qui concerne la complexité de leur vie sociale (Wilson, 1975). Nous

nous distinguons notamment des autres espèces par une tendance remarquable à la coopération (Richerson & Boyd, 1998) pouvant être dirigée envers des personnes inconnues et pouvant mener à la réunion de millions d'individus pour le soutien d'une cause commune. Pour Tomasello (2009), cette étonnante disposition humaine aux comportements altruistes serait la conséquence évolutive du mutualisme. La survie de l'espèce humaine, notamment à travers les comportements de chasse et de défense, aurait induit une mise en commun des ressources personnelles et aurait donné lieu à l'émergence de phénomènes de coopération spontanée entre individus. Aujourd'hui, il est ainsi possible d'observer chez l'humain la manifestation de comportements sociaux spectaculaires du point de vue de leur rareté au sein du règne animal comme, par exemple, la prise en charge des individus souffrant de handicaps physiques ou mentaux mais aussi comme la réalisation d'actions conjointes par des individus séparés de milliers de kilomètres et ne s'étant jamais rencontrés (via internet par exemple).

Etant donné que les humains passent la plupart de leur temps à s'engager dans des actions coopératives (Richerson & Boyd, 1998) ou à interpréter le comportement des autres (Barresi & Moore, 1996) même en l'absence d'intentions d'interagir (Frith & Frith, 2006), on peut s'attendre à ce que des influences interpersonnelles substantielles existent au sein de l'espèce humaine. Evoluant dans un environnement social extrêmement riche, composé de centaines d'individus, les humains ont développé un système cognitif capable de comprendre les comportements de leurs congénères et de pouvoir les anticiper afin d'interagir efficacement avec eux. Soutenant cette idée, Castiello et al. (2010) suggèrent l'existence de prédispositions innées à accorder un statut privilégié à nos congénères au sein de notre environnement. A travers l'étude par échographie de jumeaux durant la gestation, ces chercheurs ont mis en évidence des différences cinématiques dans les mouvements des fœtus

selon qu'ils bougent vers la paroi intra-utérine ou vers leur jumeau et cela dès la quatorzième semaine de vie.

1.2. Définition et émergence de la cognition sociale

Un certain nombre de processus, regroupés sous le terme générique de « cognition sociale », permettent à l'individu d'interagir efficacement avec ses congénères et de développer des relations d'affiliation. Galloti et Frith (2013) définissent la cognition sociale comme « les processus qui supportent la compréhension des autres et les interactions que nous avons avec eux » (p. 1). Ainsi, ce terme fait référence à l'ensemble des processus cognitifs grâce auxquels un individu perçoit et conceptualise les actions de ses congénères et y réagit, que ce soit au niveau du groupe ou au niveau des relations inter-individuelles (Blakemore, Winston & Frith, 2004). Derrière ce concept très général, sont regroupés des mécanismes sociaux aussi variés que la détection du regard, la capacité d'empathie, l'imitation, les processus de communication, la détection des émotions et la théorie de l'esprit (Goldman & De Vignemont, 2009). Ces différentes compétences s'organisent conjointement et reposent sur les caractéristiques sensori-motrices de notre organisme, elles-mêmes sensibles au contexte social. Ainsi, pour Knoblich et Sebanz (2006) les processus de perception et d'action sont sociaux par nature et représentent les fondements du développement des interactions sociales et des capacités à comprendre le comportement des congénères. Nous allons aborder dans les paragraphes suivants la manière dont notre perception et nos comportements permettent d'optimiser les interactions entre individus en contexte social.

1.2.1. Ancrage social de la perception

Le regard d'un individu est un signal extrêmement important du point de vue du bon déroulement des interactions sociales (Wu, Bischof & Kingstone, 2014). Il peut traduire des informations à propos de ses états internes, comme les émotions ou les intentions, mais aussi renseigner sur les connaissances qu'il possède sur son environnement (Emery, 2000). Cette sensibilité au regard ne concerne pas seulement les relations entre humains, mais également entre humains et autres espèces animales. Par exemple, Watve et al. (2002) ont rapporté que les guépieds (oiseaux insectivores de taille moyenne) rentraient significativement moins souvent dans leur nid lorsqu'un individu regardait dans leur direction par comparaison à une situation où cet individu regardait dans une autre direction. Ainsi, dans le monde animal, l'analyse du regard d'autres individus permet d'identifier des objets d'intérêts et d'anticiper le fait d'être soi-même un objet d'intérêt, éventuellement une proie pour un prédateur, et revêt de ce fait un caractère adaptatif. Comme le souligne Hecht, Patterson et Barbey (2012) « si quelque chose attire l'attention d'un congénère, il mérite également la mienne puisque l'on partage les mêmes sources de nourriture, les mêmes prédateurs, proies, et potentiels partenaires sexuels » (p.6). Le fait d'être sensible à l'endroit où est dirigé le regard d'un congénère peut donc être déterminant dans l'organisation de nos propres réponses comportementales. A ce jour, cette disposition a été observée chez les reptiles (Wilkinson, Mandl, Bugnyar & Huber, 2010), les oiseaux (Bugnyar, Stowe & Heinrich, 2004; Kehmeier, Schloegl, Scheiber & Weiss, 2011; Loretto, Schloegl & Bugnyar, 2009; Schloegl, Kotrschal & Bugnyar, 2008) et les mammifères (Range and Viranyi, 2011 ; Teglas, Gergely, Kupan, Miklosi & Topal, 2012) dont la majorité des études concerne les primates non-humains (Rosati & Hare, 2009). Chez certaines de ces espèces, toutefois, les individus se montrent davantage sensibles à l'orientation générale de la tête (Emery, Lorincz, Perrett, Oram &

Baker, 1997), alors que chez les chimpanzés par exemple, les individus montrent une nette capacité à suivre la direction du regard, isolément de la posture du corps (Tomasello, Hare, Lehmann, & Call, 2007). Par rapport aux autres espèces de primates, la sclérotique de l'œil de couleur blanche chez l'humain est particulièrement visible (Kobayashi & Kohshima, 1997), ce qui rend la direction du regard encore plus saillante et pourrait faciliter les comportements d'actions conjointes et de coopérations, tout en réduisant son efficacité comme prédateur (voir Figure 1).



Figure 1. Les yeux de trois espèces de primates. De haut en bas, ceux d'un gorille, d'un chimpanzé et d'un humain. *Crédits pour les images: stock.xchng*

Comme de nombreuses autres espèces animales, les humains traitent spontanément le regard de leurs congénères. Le rôle du regard dans l'orientation de l'attention a pu être mis en évidence de façon expérimentale (Driver et al., 1999) en demandant à des participants de détecter le plus vite possible une cible pouvant apparaître à gauche ou à droite d'un écran. Avant l'apparition de la cible, était affiché un visage dont le regard était dirigé également d'un côté ou de l'autre de l'écran. Sur la base de cette adaptation du paradigme de Posner

(1980), les chercheurs ont montré que le temps nécessaire à la détection de la cible était plus court lorsque le visage affiché juste avant regardait du côté où était ensuite affichée la cible (condition congruente) que lorsque le visage regardait de l'autre côté (condition incongruente). Cet effet survenait alors même que l'expérimentateur demandait aux participants de ne pas tenir compte du visage ou que la direction du regard était un mauvais prédicteur de la localisation spatiale ultérieure de la cible. Par ailleurs, cet effet a également été observé avec des visages présentés de façon subliminale (Sato, Okada & Toichi, 2007). L'ensemble de ces données suggère que cette tendance à traiter le regard des autres dépend de processus automatiques. Enfin, en accord avec la conception évolutionniste proposée par Hecht et al. (2012, ci-avant), les humains préfèrent les objets qui ont été regardés par autrui aux objets qui ne l'ont pas été (Bayliss, Paul, Cannon & Tipper, 2006).

L'importance accordée aux autres individus en contexte social chez l'humain pourrait bien dépasser celle observée dans le règne animal. En effet, le suivi spontané du regard d'autres individus présente un avantage à l'échelle individuelle en permettant à l'individu d'échapper à un prédateur ou d'accéder plus vite à un objet convoité par l'un de ses congénères. D'autre part, la disposition des humains à la coopération l'amène à considérer le point de vue d'autrui. Les travaux de Tversky et Martin Hard (2009) vont dans ce sens en montrant que l'on ne s'intéresse pas uniquement à ce que l'autre regarde, mais qu'on chercherait également à se « mettre à sa place », à adopter sa perspective. Dans une situation de description d'une scène visuelle contenant un individu, les auteurs montrent une tendance chez les participants à adopter le point de vue de cet individu lorsqu'ils devaient décrire les positions relatives des différents éléments présents dans la scène. Dans le même esprit, Samson, Apperly, Braithwaite, Andrews et Bodley Scott (2010) ont demandé à leurs participants de juger le nombre de cibles (des ronds de couleur apposés aux murs) dans une

scène virtuelle en trois dimensions, soit depuis leur point de vue, soit en adoptant le point de vue d'un avatar présent dans cette scène. Ils observent que lorsque les cibles visuellement accessibles selon le point de vue du participant et de l'avatar différaient, les participants étaient plus lents pour rapporter ce nombre, même lorsqu'ils devaient répondre depuis leur propre perspective. Dans certaines conditions, les participants sont également plus rapides pour répondre en endossant la perspective de l'avatar que depuis leur propre perspective. Par ailleurs, Qureshi, Apperly & Samson (2010) ont observé que ce phénomène était indépendant du niveau de charge cognitive auquel étaient soumis les participants. Enfin, de façon remarquable, il a été rapporté que chez des patients souffrant d'héminégligence spatiale (Becchio, Del Giudice, Dal Monte, Latini-Corazzini & Pia, 2011) l'information visuelle inaccessible d'un point de vue égocentré devenait de nouveau accessible lorsqu'on demandait aux patients de décrire la scène qui se trouvait devant eux en adoptant le point de vue d'un compère assis face à eux.

Il semble ainsi que nous partageons spontanément une représentation commune du monde avec nos congénères, malgré les points de vue différents (Gallotti & Frith, 2013). Ce phénomène serait spontané et le codage perceptif de ce qui est disponible pour autrui automatique. De récentes données expérimentales suggèrent que ce codage commun puisse même dépasser le niveau perceptif et qu'un codage moteur commun pourrait également exister (Costantini & Sinigaglia, 2012). Dans une première étude, Costantini, Ambrosini, Tieri, Sinigaglia et Committeri (2010) mettent en évidence un effet de facilitation, dans les temps de réaction des participants, à réaliser un mouvement d'atteinte lorsqu'il était déclenché par la vision d'un objet préhensible situé à proximité d'eux-mêmes par comparaison à une condition où l'objet était hors de portée. De manière intéressante, le même effet de facilitation est observé pour des objets hors de portée des participants mais physiquement accessibles par

une autre personne (Costantini, Committeri, & Sinigaglia, 2011). Ces résultats montrent qu'en présence d'autres individus, la perception des affordances dans l'environnement qui s'offre à nous serait par défaut inter-individuelle, englobant les opportunités d'actions personnelles et celles d'autrui.

En résumé, la présence d'autrui influence la façon dont nous percevons et traitons l'environnement qui nous entoure. L'ensemble des résultats expérimentaux présentés ci-dessus suggère la manifestation spontanée d'une tendance à suivre la direction du regard d'autrui ainsi qu'une orientation privilégiée de notre attention vers les objets regardés par d'autres individus. Précisément, en présence d'une autre personne, nous adopterions spontanément son point de vue sur le monde, prendrions compte des opportunités comportementales qui s'offrent à elle. Le contexte social influence ainsi précocement les processus perceptifs que nous allons déployer et nous pouvons donc nous attendre à ce qu'il affecte également nos comportements à la vue des intimes liens qui unissent la perception et l'action.

1.2.2. Ancrage social des comportements

Nos processus perceptifs ne sont pas les seuls à être influencés par la présence d'autrui. De nombreux travaux suggèrent que les comportements que nous manifestons sont également très fortement déterminés par le contexte social dans lequel nous nous trouvons. Il semble en effet qu'il existe une forte influence de la présence et de l'attitude des autres personnes non seulement sur la nature des comportements que nous manifestons mais également sur la manière de les manifester.

L'exemple le plus marquant de notre hypersensibilité aux comportements manifestés par autrui est certainement le bâillement. En effet, tout le monde a déjà fait l'expérience de la forte composante contagieuse d'un bâillement produit par une autre personne : à peine remarqué, il devient très difficile d'en inhiber sa production personnelle. Ce phénomène a été étudié et observé au sein de diverses espèces animales (Campbell, Carter, Proctor, Eisenberg, & de Waal, 2009 ; Palagi, Leone, Mancini, & Ferrari, 2009 ; Provine, 1986) et a même récemment été rapporté comme possible entre espèces (Joly-Mascheroni, Senju, & Shepherd, 2008). Précisément, Joly-Mascheroni, Senju et Shepherd (2008) ont montré que des chiens manifestaient un comportement de bâillement en réaction à la présentation d'un humain en train de bâiller alors qu'aucun bâillement ne suivait l'observation d'un humain ouvrant la bouche silencieusement. Chez ce dernier, il a été démontré (Provine, 1986) que le bâillement était aussi facilement déclenché par la simple lecture de descriptions de bâillement que par la vision de vidéos d'autres personnes en train de bâiller. De même, la simple écoute de quelqu'un en train de bâiller ou encore le fait d'imaginer quelqu'un en train de bâiller peut déclencher un comportement de bâillement (voir Figure 2).



Figure 2. Illustration du comportement de bâillement chez différentes espèces animales. Selon les études précédemment discutées, l'observation prolongée de ses photographies associée à la lecture du dernier paragraphe devrait déclencher un comportement de bâillement chez le lecteur. Cela a en tout cas très bien marché sur l'auteur de ce manuscrit. *Crédits pour les images: stock.xchng pour les animaux non-humains & Reuters pour l'homme.*

Ce genre de contagion comportementale ne se résume pas au bâillement et s'étend à d'autres comportements comme par exemple le sourire, dont on sait qu'il est facilité par le simple fait de percevoir d'autres personnes le produire (Bush, Barr, McHugo, & Lanzetta, 1989). Ces phénomènes d'imitation spontanée apparaissent très tôt au cours du développement. En effet, on peut observer des comportements d'imitation chez les bébés âgés de quelques semaines (Meltzoff & Moore, 1977) et même chez les nouveau-nés âgés d'une heure (Meltzoff & Moore, 1983, 1989). A la naissance, l'imitation semble se limiter aux mouvements du visage comme la protrusion de la langue ou le clignement d'un œil mais après quelques semaines les bébés sont capables de reproduire par imitation des mouvements des bras et des mains (Meltzoff & Moore, 1977). Ces imitations précoces primaires pourraient

avoir un intérêt social en renforçant le lien entre l'enfant et ses parents et pourraient ainsi constituer les bases de futures interactions interpersonnelles plus élaborées. Pour Piaget (1962) par exemple, l'imitation des expressions faciales par le nouveau-né constitue une étape fondamentale dans le développement des capacités ultérieures de cognition sociale. Meltzoff et Gopnik (1993) postulent en effet que le comportement d'imitation spontané permet la synchronisation chez le bébé de ce qu'il ressent (ses sensations proprioceptives, ses états moteurs et émotionnels) et de ce qu'il perçoit (le visage de l'autre). De façon congruente, de récentes données sur la sensibilité des individus à la contagion du bâillement suggèrent qu'elle est associée avec le niveau d'empathie de ces individus (Platek, Critton, Myers, & Gallup, 2003). L'ensemble de ces éléments soutient le caractère structurel de l'imitation spontanée dans l'émergence de la cognition sociale.

La tendance à automatiquement imiter autrui a également été rapportée chez les adultes. Brass, Bekkering, Wohlschläger et Prinz (2000) ont observé que la réalisation d'une action motrice est facilitée par l'observation de la production de cette même action chez une autre personne. Précisément, ces auteurs demandaient aux participants de lever l'index ou le majeur le plus vite possible quand le mouvement d'un doigt était initié sur une vidéo. Cette vidéo représentait la main d'une personne levant soit l'index, soit le majeur, indépendamment de la consigne donnée aux participants. Le temps nécessaire pour que les participants réalisent le mouvement d'extension de leurs doigts était significativement plus court lorsque le doigt bougé sur la vidéo était le même que celui qu'ils devaient bouger que lorsqu'il différait. Confortant ces résultats, Kilner, Paulignan et Blakemore (2003) ont demandé à des participants de réaliser des mouvements horizontaux ou verticaux avec leur bras droit. Pendant la réalisation de cette tâche, une autre personne réalisait également des mouvements horizontaux ou verticaux avec son bras. Les auteurs ont observé que la variabilité des

mouvements des participants sur le plan orthogonal au déplacement (horizontal pour ceux qui devaient bouger leur bras verticalement et réciproquement) était plus importante lorsque le compère réalisait des mouvements sur ce plan plutôt que lorsqu'il réalisait des mouvements sur le même plan que les participants. Cette interférence du mouvement d'une autre personne sur les performances motrices suggère une tendance automatique à reproduire les comportements que l'on perçoit. Ces études expérimentales s'intéressent toutefois à des comportements extrêmement précis (e.g. mouvement des doigts) et discrets (mouvements isolés, effectués en dehors d'une séquence d'action complexe). De plus, la mise en évidence d'une imitation spontanée ne se manifeste ici qu'à travers l'observation d'interférences de l'observation d'un autre comportement que celui produit par les participants. Il existe cependant de nombreuses études provenant du champ de la psychologie sociale (où l'on parle d' « effet caméléon » pour qualifier la tendance automatique à l'imitation) faisant appel à des paradigmes plus écologiques. Parmi celles-ci, l'étude princeps fut menée par Chartrand et Bargh (1999). Les participants devaient donner leur avis sur différentes photographies en vue de permettre la sélection du matériel pour un test projectif. La tâche était réalisée avec l'aide d'une personne que les participants pensaient être un autre participant, mais qui s'avérait être un compère de l'expérimentateur. De façon aléatoire, le compère secouait son pied ou se frottait le nez. L'ensemble des interactions était filmé, ce qui a permis de montrer que les participants secouaient davantage leur pied quand le compère secouait son pied et se frottaient davantage le nez quand le compère se frottait le nez. Ainsi, ces travaux ont permis de montrer une tendance automatique des humains à imiter les comportements d'autrui lorsqu'ils sont impliqués dans des interactions sociales.

Dans une seconde étude utilisant le même principe expérimental ("cover story" basée sur la présélection d'un matériel photographique en binôme), les participants étaient cette fois

associés à un compère qui pouvait selon les conditions, soit imiter les postures et mouvements des participants, soit maintenir une attitude neutre. À partir d'un questionnaire post-experimental, les auteurs ont montré que l'interaction était jugée plus agréable et que le compère était préféré lorsque celui-ci imitait les participants plutôt qu'en absence d'imitation. De façon intéressante, ce phénomène a été observé chez d'autres espèces animales (Paukner, Suomi, Visalberghi, & Ferrari, 2009), et également en inter-espèces, puisqu'il a été montré que les singes capucins préféraient un humain qui imitait leurs comportements. Par ailleurs, Lakin et Chartrand (2003) ont observé que le comportement d'imitation est favorisé par une induction subliminale du désir de s'intégrer, corroborant ainsi la nature implicite de ce phénomène et son rôle social. Enfin, dans une autre étude utilisant le même paradigme que décrit plus haut, Chartrand et Bargh (1999) ont testé la capacité des participants à se mettre à la place d'autrui à partir d'un questionnaire d'évaluation de l'empathie (IRI, Davis, 1980). Confirmant les premiers résultats, les participants rapportant de plus grandes aptitudes à prendre la perspective d'autrui manifestaient plus de comportement d'imitation que ceux rapportant de plus faibles aptitudes.

L'ensemble de ces données suggère que la tendance automatique à l'imitation, c'est-à-dire la contagion motrice des comportements d'autrui, puisse jouer un rôle déterminant dans la régulation des interactions sociales et puisse être nécessaire à l'établissement des capacités de cognition sociales. Chartrand et Bargh (1999) soutiennent ainsi que l'imitation permet de renforcer les liens interpersonnels et l'attachement entre les différents protagonistes d'une interaction mais aussi qu'elle facilite les interactions sociales en renforçant l'attention accordée aux autres. Pour Meltzoff et Gopnik (1993) « L'imitation spontanée des comportements constitue le pont qui permet aux états mentaux d'une autre personne de devenir nos propres états mentaux ressentis » (p. 358). Ainsi, de nombreuses données

expérimentales sont en faveur d'une influence précoce et déterminante du contexte social sur le fonctionnement perceptif et moteur. En retour, les processus sensori-moteurs constituent les fondations nécessaires à l'élaboration de capacités cognitives et affectives complexes permettant à l'individu de s'adapter socialement et de vivre en société. Sur la base de processus élémentaires d'orientation attentionnelle et de contagion motrice, des compétences sociales seraient acquises permettant de mieux interagir avec les autres personnes, d'accéder à leurs croyances et leurs points de vue, et d'éprouver leurs émotions et leurs intentions.

1.3. L'empathie, un concept multi-référentiel

Les recherches sur la contagion motrice et à l'imitation spontanée, précédemment discutées, font généralement référence à la notion d'empathie pour rendre compte de la capacité à comprendre les comportements d'autrui et accéder à ses croyances, ses sentiments, ses intentions, voire ses émotions. Pourtant, l'emploi de ce concept a suscité un certain nombre de controverses. En effet, bien que très utilisé, ce concept souffre d'une grande diversité de définitions selon le champ disciplinaire dans lequel il est employé et renvoie de ce fait à des phénomènes extrêmement différents (pour une discussion détaillée de ce point, voir Batson, 2009). Une tentative de clarification et de définition s'avère donc nécessaire.

Historiquement, le terme allemand *Einfühlung* (traduit ensuite par celui d'« empathie ») fut utilisé la première fois par Lipps (1903) pour référer à l'état psychologique consistant à se projeter à la place d'une autre personne, à imaginer le monde depuis sa perspective, à se mettre « dans sa peau ». Depuis, plusieurs chercheurs (e.g. Preston & de Waal, 2002) ont utilisé le concept d'empathie pour qualifier la capacité, variable d'un individu à l'autre, à accéder à l'état interne d'une autre personne (pensées, ressentis,

émotions, cette définition pouvant s'appliquer à de nombreuses espèces animales). Une autre conception envisage l'empathie comme la tendance à ressentir le même état émotionnel que celui qu'éprouve une autre personne (e.g. Damasio, 2003). Selon cette définition, plus courante dans la littérature, il n'est pas nécessaire que les individus soient en interaction directe. On peut par exemple imaginer observer la manifestation de l'empathie chez un individu qui en observe un autre. Pour autant, pour parler d'empathie il faut que la contagion émotionnelle soit relative à ce qu'éprouve une autre personne au moment présent. On ne pourra pas ainsi parler d'empathie si quelqu'un éprouve de la tristesse en pensant à la tristesse manifestée par l'un de ses amis dans le passé. Une dernière conception (e.g. Batson, 1991), bien que proche de la précédente, autorise la manifestation d'autres émotions en réaction à celles manifestées par autrui. On parle dans ce cas d'empathie pour caractériser la manifestation d'une émotion - de valence congruente - en réaction à la perception de la manifestation d'une émotion chez quelqu'un d'autre. Selon cette dernière conception, on peut qualifier de réaction empathique la peur que l'on pourrait éprouver lors de l'observation de quelqu'un de triste. Enfin, il est important de noter que le concept d'empathie est également un terme largement utilisé en dehors des recherches scientifiques et qu'il possède ainsi une définition liée au "sens commun". Ces définitions co-existent aujourd'hui et le débat autour d'une définition consensuelle de l'empathie souffre probablement de l'existence d'une forme de représentation intuitive de ce concept chez tout individu, ce qui contribue à la grande hétérogénéité de son usage.

Ces définitions ne sont toutefois pas en contradiction les unes avec les autres. Par exemple, on peut tout à fait envisager que pour « accéder à l'état interne d'une autre personne », il faille « ressentir ce qu'elle éprouve » ou encore qu'il faille se « projeter à la place » de celle-ci. Il est même possible d'articuler ces phénomènes de façon complémentaire

en concevant qu'à travers le fait de se projeter à la place de quelqu'un d'autre, on ressent ce qu'il éprouve et on peut ainsi accéder à ses états internes. Quoi qu'il en soit, le terme d'empathie ne peut pas référer simultanément à plusieurs phénomènes, puissent-ils coexister. Devant la forte variabilité d'usage de ce concept, Decety (2011) conclut que « s'il ne fait aucun doute que le concept d'empathie est utile sur le plan phénoménologique - puisque nous avons besoin de mots pour naviguer dans le monde social, ce concept pourrait être trop complexe pour être à la fois utile et pour avoir du sens pour les recherches en neurosciences sociales et affectives » (p.104).

Dans ce contexte, Baron-Cohen (2003) propose une définition élargie de l'empathie conçue comme un phénomène multi-componentiel. Selon lui, l'empathie réfère à la tendance spontanée à s'accorder aux pensées et sentiments d'autrui et reposerait sur deux composantes majeures : une composante affective et une composante cognitive. La composante affective renvoie à la manifestation d'une réponse émotionnelle adaptée à la perception de l'état émotionnel d'autrui. La composante cognitive renvoie, quant à elle, à la capacité à prendre la perspective d'autrui. Bien que la première composante renferme une part inhérente d'arbitraire dans son opérationnalisation, la seconde peut être évaluée objectivement. Ainsi, la capacité à inférer les pensées, connaissances et intentions d'autrui a été massivement investiguée en psychologie sous la dénomination de « théorie de l'esprit » (Premack & Woodruff, 1978). De part sa nature plus heuristique, le concept de théorie de l'esprit sera privilégié dans les discussions à venir concernant la capacité à comprendre l'autre, ses croyances et ses intentions, bien que ce soit parfois en terme « d'empathie » que concluent les chercheurs s'intéressant à cette question.

2. Théorie de l'esprit, Mentalisation et « Mind-reading »

2.1. Définition et caractéristiques principales

La théorie de l'esprit renvoie à la capacité à comprendre les états mentaux d'autres individus, comme leurs croyances et leurs désirs (Premack & Woodruff, 1978) mais aussi à la capacité de pouvoir justifier et surtout prédire leurs comportements (Apperly & Butterfill, 2009). Dans la littérature scientifique, de nombreux termes ont été utilisés comme synonymes de la théorie de l'esprit. Parmi les plus courants, on trouve ceux de mentalisation et de « mind-reading » (Emery, 2005; Frith & Frith, 2008). Ainsi, on peut trouver comme définition de la capacité de mentalisation, l'attribution implicite ou explicite d'états mentaux aux autres individus de façon à expliquer et anticiper ce qu'ils vont faire (Frith & Frith, 2012) et pour le mind-reading, la capacité des gens à attribuer des états mentaux aux autres personnes (Gallese & Sinigaglia, 2011 ; Gallotti & Frith, 2013).

Etant donné l'intérêt majeur que représentent ces capacités pour le bon déroulement des interactions en contexte social (Hamilton, 2009 ; Sebanz & Knoblich, 2009), les humains ont développé une remarquable propension à spontanément inférer des intentions et états mentaux à partir de l'observation des actions produites par les autres (Barresi & Moore, 1996). En conséquence, les individus engagés dans des interactions sociales ont tendance à encoder le comportement des autres en termes de buts poursuivis (Newtson, Engquist, & Bois, 1977; Vallacher & Wegner, 1987; Wegner & Vallacher, 1986), et cela même lorsqu'ils lisent de simples descriptions d'actions (Hassin, Aarts, & Ferguson, 2005 ; Long & Golding,

1993 ; Poynor & Morris, 2002) ou lorsqu'ils font face à des informations extrêmement rudimentaires et abstraites comme le déplacement de figures géométriques (voir Figure 3 ; Gergely, Nadasdy, Csibra, & Biro, 1995; Heider & Simmel, 1944; McAleer & Pollick, 2008; Rimé, Boulanger & Laubin, 1985 ; Scholl & Tremoulet, 2000 ; Tremoulet & Feldman, 2000). Enfin, il est à noter que l'attribution de buts à partir d'actions observées survient très tôt au cours du développement puisque, dès dix-huit mois, les enfants ne codent plus les comportements qu'ils observent en termes physiques (actions) mais en termes psychologiques (intentions, Meltzoff, 1995 ; Meltzoff & Gopnik, 1993).

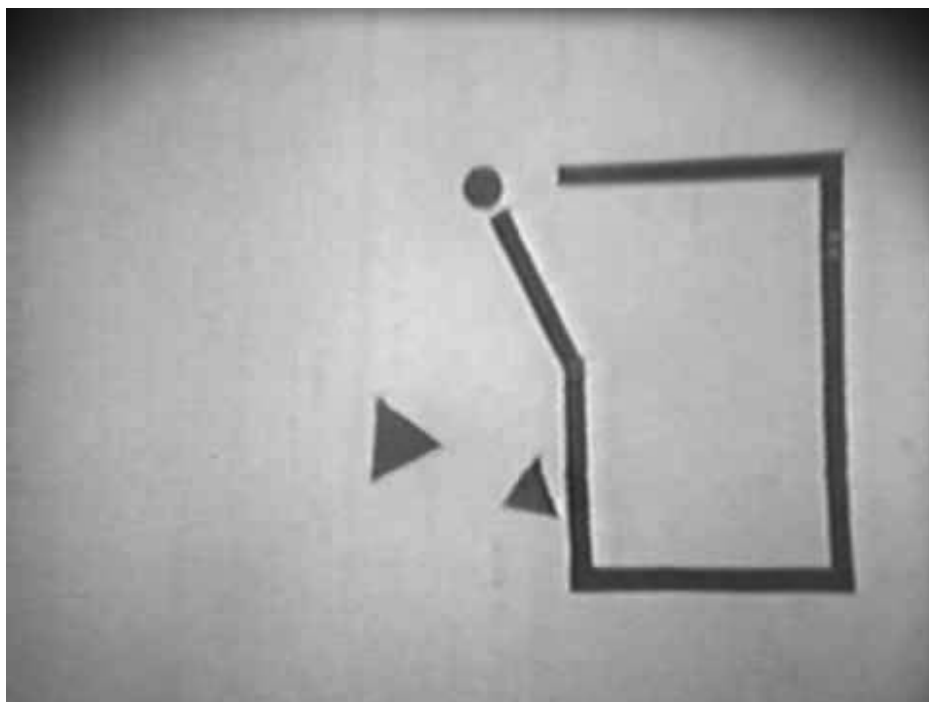


Figure 3. Illustration des figures géométriques utilisées dans les études de Heider et Simmel (1944). *Les auteurs ont observé que face à ce type de stimuli visuels en mouvement, la quasi-totalité des participants rapportaient voir le déroulement d'une interaction sociale mettant en scène différents protagonistes avec un important degré de précision (sexes des individus, intentions poursuivies, émotions éprouvées, traits de personnalités, etc.) lorsqu'ils devaient répondre à la consigne « décrivez ce qui se passe à l'écran ».*

De ce fait, une part importante des recherches s'est intéressée à la théorie de l'esprit dans le but d'identifier les paliers d'acquisition des capacités de mentalisation selon une perspective développementale (Apperly, 2012). Le test « standard » permettant d'évaluer ces capacités, le test des fausses croyances (Wimmer & Perner, 1983), suggère l'émergence des capacités de mentalisation à partir de l'âge de cinq ans. Toutefois, des critiques portant à la fois sur l'âge d'apparition des capacités de mentalisation et sur leur évaluation ont été formulées. Le test des fausses croyances évalue la capacité à prédire le comportement d'une autre personne sur la base de ses connaissances, dont on sait qu'elles sont erronées. Par exemple, nous pouvons anticiper le fait qu'un enfant, disons Martin, aille chercher un jouet dans le coffre puisqu'il ne sait pas que sa mère l'a rangé entre temps dans l'armoire. Le comportement de Martin est déterminé par ses fausses croyances à propos de la localisation du jouet. Avant l'âge de cinq ans, les enfants semblent se baser sur leurs propres connaissances à propos de la localisation de l'objet (le fait que la mère ait rangé le jouet dans l'armoire) pour prédire le comportement de Martin (Wimmer & Perner, 1983). Plus âgés, ils sont par contre capables d'expliquer pourquoi Martin va chercher son jouet au mauvais endroit. Ils ont des connaissances explicites à propos des croyances erronées de Martin. Cependant, si l'on s'intéresse à d'autres mesures que les croyances explicitement rapportées par les enfants, des données suggèrent que dès l'âge de trois ans les enfants regardent à l'endroit où Martin devrait aller chercher son jouet (ici, le coffre) même s'ils répondent à l'expérimentateur qu'il ira le chercher à l'autre endroit (ici, l'armoire, Clements & Perner, 1994). Par ailleurs, dès quinze mois les enfants semblent surpris, puisqu'ils passent davantage de temps à regarder la scène qui leur est présentée lorsqu'un personnage agit d'une façon qui est incongruente avec ses fausses croyances (Onishi & Baillargeon, 2005). Considérant ces différentes observations, il a été suggéré (Apperly & Butterfill, 2009) que deux formes de

perception des états mentaux coexistent et contribuent à la compréhension des croyances et intentions d'autrui et à l'anticipation de leurs effets. La première forme s'appuierait sur un processus rapide, peu coûteux cognitivement et qui se développerait précocement. De par ces caractéristiques, il serait toutefois peu flexible et majoritairement implicite. La seconde forme de perception des états mentaux apparaîtrait plus tardivement au cours du développement, serait plus flexible et permettrait la verbalisation des états mentaux inférés. Elle s'appuierait sur un processus plus coûteux cognitivement et donc plus lent. Parmi ces deux formes de perception des états mentaux, la forme implicite de perception des états mentaux a été identifiée chez de nombreuses espèces animales (Clayton & Emery, 2007). Il se pourrait ainsi que seule la seconde forme de perception des états mentaux, plus explicite, soit le privilège de l'espèce humaine.

En résumé, les humains ont développé une tendance à inférer spontanément des états mentaux à partir de l'observation d'autres individus, et cela même quand seules des informations extrêmement rudimentaires sont disponibles. Comme nous l'avons détaillé, il existe une certaine hétérogénéité inhérente aux méthodologies employées pour identifier l'âge d'acquisition de cette compétence. De nombreux indices suggèrent cependant une émergence précoce, antérieure à la maîtrise du langage, d'une forme implicite de perception des états mentaux. Différentes conceptions ont été formulées afin de rendre compte des processus sous-tendant ces compétences. Nous allons maintenant nous attacher à les détailler.

2.2. Processus impliqués dans la mentalisation

Deux conceptions majeures se sont longtemps opposées pour rendre compte de la façon dont les humains développent des capacités de mentalisation (Hari & Kujala, 2009) : La « Theory theory » (en français, théorie des théories) et la « Simulation theory » (en français, la théorie de la simulation). Dans le but de clarifier les postulats défendus par ces différentes théories, nous allons considérer la petite histoire suivante que nous reprendrons à la lueur de chacune des conceptions.

Nina et Lisa sont amies. Elles sont toutes deux étudiantes et préparent un concours d'entrée dans une école qui leur tient fortement à cœur de pouvoir fréquenter. Elles travaillent énormément, l'une comme l'autre, afin de mettre toutes les chances de leur côté. Le jour des résultats, Nina, qui est arrivée un peu après Lisa, se dirige vers le tableau d'affichage où sont inscrits les noms des candidats admis. Sur sa route, elle rencontre Lisa qui en revient. Lisa se déplace lentement et marche d'un pas lourd, la tête baissée.

Nina lui demande comment elle va.

Ça va, répond Lisa. Puis elle ajoute ne pas avoir été retenue pour intégrer l'école et précise qu'elle prend bien la nouvelle et que ça ne la tracasse pas.

Après ce bref échange verbal, les deux filles se séparent. Lisa rentre chez elle et Nina reprend son trajet vers le panneau d'affichage. Bien que Lisa ait répondu sans ambiguïté que tout allait bien, Nina est à ce moment convaincue qu'en réalité elle est très déçue et émotionnellement affectée par ce qu'elle vient d'apprendre.

2.2.1. La « Theory theory »

Selon la « Theory theory », lorsque nous souhaitons comprendre les états mentaux d'autrui, nous réalisons des inférences à partir des connaissances que nous avons en mémoire. Précisément, nous expliquons les comportements des autres personnes en faisant appel à notre « psychologie du sens commun » (Gopnik & Wellman, 1992). À l'aide de nos croyances naïves² sur le fonctionnement cognitif et comportemental de l'Homme, nous donnons du sens aux actions entreprises par d'autres personnes. Classiquement, la « Theory theory » soutient l'idée que la mentalisation est un processus riche et complexe, reposant sur de nombreuses informations (Spaulding, 2012).

Selon cette conception, lors de sa rencontre avec Lisa, Nina se dit intérieurement que « quand les gens ont une posture orientée vers le sol et qu'ils marchent lentement, c'est souvent parce qu'ils sont tristes ». Par ailleurs, elle sait « que les gens sont souvent déçus lorsqu'ils ne sont pas capables d'atteindre les objectifs qu'ils se sont fixés ». Puisque Lisa marchait d'un pas de plomb et qu'elle ne pourra pas entrer dans l'école qu'elle convoitait, Nina conclut qu'elle doit probablement être triste, quoi qu'elle ait pu lui dire.

² Le terme naïf est employé ici comme un synonyme de “non expert”, “non initié”. Au cours de la vie, enfants et adultes se forment naturellement de nombreuses croyances sur le fonctionnement du monde qui les entoure et y adhèrent sans chercher à les valider de façon scientifique. Parmi celles-ci, certaines peuvent être exactes alors que d'autres sont erronées.

2.2.2. La « Simulation Theory »

Alors que la « Theory theory » suppose que chaque personne possède des théories naïves à propos du comportement humain, la « Simulation Theory » postule qu'il n'est pas nécessaire que nous ayons de telles connaissances puisque nous pouvons utiliser notre propre fonctionnement comme modèle pour comprendre celui des autres (Saxe, 2005). Selon cette conception, c'est en simulant mentalement la perspective d'autrui que nous aurions accès aux états internes d'autres personnes (Goldman, 2006). Sur la base de nos mécanismes de simulation, nous ressentons ce que les autres éprouvent et pensent. Actuellement, deux conceptions découlant de cette théorie se côtoient (Wiltshire, Lobato, McConnell, & Fiore, 2015) : la théorie classique de la simulation (Blakemore & Decety, 2001 ; Goldman, 2006) et la théorie de la perception directe (« direct perception », Gallagher, 2008 ; De Jaegher, 2009). Une différence majeure apparaît dans l'usage du terme « simulation » au sein de ces deux conceptions. Dans le premier cas, ce terme réfère à une représentation mentale alors que dans le second cas il réfère à des réponses incarnées, c'est à dire des réactions inconditionnelles de nos systèmes perceptifs et moteurs en situation particulière.

Conception classique de la « Simulation Theory »

Pour la conception classique, lorsque l'on observe nos congénères, nous nous mettons « à leur place », nous adoptons spontanément leur perspective dans le but de synchroniser notre activité mentale avec la leur (Gallese & Goldman, 1998). A travers ce processus, nous pourrions vivre la scène que l'on observe en se plaçant à la première personne.

Selon cette conception, lors de sa rencontre avec Lisa, Nina se dit que « Lisa vient d'apprendre qu'elle n'avait pas été reçue ». A sa place, Nina serait très déçue de ne pouvoir entrer dans cette école. Ainsi, elle conclut que Lisa doit probablement être triste, quoi qu'elle ait pu lui dire.

Théories de la « direct perception » et théories incarnées

À la différence de la conception classique, les théories de la « direct perception » (e.g. Gallagher, 2008), parfois également appelées « Interaction theories » (e.g. Wiltshire, Lobato, McConnel, & Fiore, 2015), supposent qu'il n'est pas nécessaire de faire d'inférences pour accéder à l'état mental d'autrui. Les informations physiques véhiculées lors d'une interaction sociale permettraient à elles seules la compréhension rapide des croyances, émotions et intentions d'autrui. Par une tendance automatique à l'appariement moteur (voir chapitre 1) et émotionnel (Dimberg, Thunberg, & Elmehed, 2000), lors d'interactions avec autrui, nous serions immédiatement amenés à éprouver son ressenti intime. Ainsi, cette position épistémologique des bases de la mentalisation est également discutée sous le nom de « cognition sociale incarnée » (Spaulding, 2012).

Selon cette conception, Nina ne se dit rien du tout. Elle n'a pas à penser. L'état mental de Lisa s'impose à elle. Elle voit Lisa dans une posture particulière et affichant une certaine expression faciale. Son corps se synchronise sur celui de Lisa. Elle se met donc à ressentir elle aussi de la tristesse par des mécanismes de résonance. Puisqu'elle ressent cette tristesse, elle saisit immédiatement le véritable état mental de son amie, quoi que celle-ci ait pu lui dire.

Bien que ces différentes conceptions se côtoient encore aujourd'hui, la vision d'un processus inférentiel explicite (Theory theory) a - ces dernières années - progressivement perdu du terrain pour trois raisons majeures. D'abord, les théories de la simulation se voient supportées par le développement d'une vision incarnée de la cognition (Barsalou, 2003, 2008 ; Goldstone & Barsalou, 1998). Ensuite, une quantité importante d'arguments a été accumulée en faveur d'une imitation spontanée des individus en situation d'interaction sociale (voir chapitre 1) et, de façon congruente, des données en neuro-imagerie suggèrent que les mêmes réseaux neuronaux sont activés lorsque l'on effectue une action et lorsqu'on observe une autre personne réaliser cette même action (Grezes & Decety, 2001). Enfin, la découverte du système miroir offre un support neuronal concret au processus de simulation motrice qui soutiendrait la mentalisation (Gallese & Goldman, 1998). Considérés conjointement, ces éléments supportent une compréhension des actions d'autrui à la première personne (Damasio & Meyer, 2008), par l'intermédiaire de mécanismes sensori-moteur de bas-niveau.

2.3. Les bases neurales de la mentalisation

Comme évoqué ci-dessus, il a été suggéré que les neurones miroirs³ représentent le support neural de notre capacité de mentalisation (Gallese & Goldman, 1998). En s'activant

³ Historiquement, ces neurones ont été découverts par hasard chez le singe par Di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese et Rizzolatti (1992) alors qu'ils cherchaient à dissocier l'activité des neurones du cortex pré-moteur imputable aux propriétés des stimuli de celle due aux mouvements dirigés vers ces stimuli. Pour cela, ils avaient entraîné un macaque à saisir des objets de différentes tailles. Après les premières acquisitions, ils ont observé que certaines actions de l'expérimentateur entraînaient une réponse de la part d'une large proportion des neurones de la région F5 du singe alors même que celui-ci ne réalisait aucun mouvement. Une fois de nombreux tests réalisés afin d'éliminer toute variable parasite, les auteurs conclurent que certains neurones du cortex pré-moteur répondaient aussi bien à la production d'une action par le singe qu'à la vision de cette même action réalisée par l'expérimentateur. De par cette caractéristique, ces neurones se sont ensuite vus baptiser neurones miroirs. Chez l'Homme, l'enregistrement de l'activité d'un seul neurone étant trop invasive, on parle plutôt d'un

chaque fois que l'on perçoit un individu réaliser une action, ces neurones pré-moteurs nous transmettraient une information similaire à celle éprouvée lorsque l'on réalise nous même cette action (Rizzolatti & Craighero, 2004). Par ce processus, les neurones miroirs transformeraient les informations visuelles qui nous parviennent en sensations associées à diverses intentions ou émotions et nous permettraient de comprendre les états mentaux d'autres personnes. Bien que cette vision soit séduisante et grandement répandue, nous allons voir, dans la partie suivante, qu'elle possède d'importantes limites et que le système miroir ne peut pas - ou du moins, pas seul, - constituer la base de nos capacités de mentalisation.

2.3.1. Neurones miroirs et représentation des actions

Si les neurones miroirs renseignent l'observateur en lui permettant d'éprouver un état similaire à celui de la personne observée, la question du niveau auquel s'effectue cette résonance revêt une importance primordiale dans la compréhension des états mentaux d'autrui. Effectivement, face à l'observation de quelqu'un attrapant un verre d'eau, ressentir à la première personne la volonté d'étendre son bras, la volonté d'attraper un verre d'eau, la volonté de boire, ou encore ressentir la sensation de soif, renvoient à des niveaux d'interprétations tout à fait distincts (et en particulier à la distinction moyens-buts).

Répondant partiellement à cette question, il a été observé chez le singe que les neurones miroirs du cortex prémoteur déchargent lors de l'observation d'un mouvement de la main exécuté par autrui et dirigé vers une cible mais qu'ils ne déchargent pas pour l'observation du même mouvement de la main en l'absence de cible (Umiltà et al., 2001). Par

système miroir et l'observation de ces groupes de neurones a été rapportée aux niveaux du cortex pré-moteur et du lobe pariétal inférieur (Molenberghs, Cunnington, Mattingley, 2009).

contre, il suffit que l'animal sache que la cible est présente pour observer une activation des neurones miroirs, même si la cible elle-même et la fin du mouvement de l'expérimentateur ne sont pas visibles. Il semble donc que le comportement des neurones miroirs soit davantage déterminé par le but de l'action (ici, saisir un objet) que par les comportements mis en œuvre pour y parvenir (ici, déplacer son bras). Plus tard, Umiltà et al. (2008) ont rapporté une activation des mêmes neurones durant l'observation du geste de saisie d'un objet avec une pince, que celle-ci nécessite la flexion ou au contraire l'extension des doigts pour attraper l'objet. Ce résultat suggère à son tour que les neurones miroirs ne répondent pas spécifiquement aux caractéristiques motrices des actions observées puisqu'ils s'activent pour deux comportements opposés permettant la réalisation de la même intention. S'ajoutant à ces premiers résultats, Iacoboni et al. (2005) ont réalisé une étude en imagerie cérébrale chez l'humain. Ils présentaient à leurs participants des films de mouvements de saisie manuelle dirigés vers une tasse dans différents contextes. Les objets entourant la tasse (théière, assiettes contenant des aliments, etc.) pouvaient être ordonnés ou désordonnés, suggérant que la scène correspond à une situation précédent ou faisant suite à une collation, et donc que le mouvement de saisie était réalisé avec l'intention de boire ou avec l'intention de débarrasser la table. Les auteurs ont observé une activité significativement différente dans les régions frontales associées au système miroir en réaction à l'observation des deux types d'intentions, mettant ainsi en évidence une sensibilité du système miroir aux intentions à l'origine du mouvement observé. Enfin, Buccino et al. (2001) ont présenté à leurs participants des films muets qui montraient un humain, un singe, ou un chien, exécuter soit une action transitive consistant à mordre de la nourriture, soit une action intransitive consistant respectivement à parler, claquer des lèvres ou aboyer. Les auteurs constatèrent d'une part que l'observation de toute action, transitive comme intransitive, entraîne une activation du système miroir. Par

ailleurs, ils observèrent que pour les actions intransitives, l'activation des régions motrices des participants est fonction de la résonance motrice entre les mouvements observés et les ressources motrices de l'observateur. Dit autrement, plus l'individu observé était proche de l'observateur sur le plan moteur et plus la réaction des régions motrices de ce dernier était importante (voir aussi, Calvo-Merino, Glaser, Grèzes, Passingham, & Haggard, 2005). L'activité du système miroir semble donc être davantage dépendante des buts observés que des comportements mis en œuvre pour y parvenir. De plus, chez l'humain, le système miroir se montre sensible à des actions intransitives et pourrait donc soutenir la compréhension de buts plus abstraits que la simple manipulation d'objets, en permettant par exemple la détection d'intentions communicatives.

Différentes études rapportent une sensibilité du système miroir aux intentions d'autrui ainsi qu'une tendance à répondre à la fois à l'observation d'actions transitives et intransitives manifestées par une autre personne. Pour ces raisons, il existe un fort engouement à lui accorder une place centrale dans les capacités de mentalisation. Cependant, rien ne permet de conclure que le système miroir constitue le support de la capacité à distinguer différentes intentions. Son activation différenciée pourrait tout à fait être la conséquence - et non pas la cause - de la distinction de différentes intentions. Ainsi, le rôle exact du système miroir est encore aujourd'hui extrêmement débattu au sein de la littérature scientifique. Pour certains (e.g. Gallese, Keysers & Rizzolatti, 2004), il constituerait le support neuronal impliqué dans la compréhension des actions et des émotions d'autrui et c'est à travers son activité que nous accéderions à la compréhension immédiate des actions d'autrui, en les vivant à notre tour. Pour d'autres, comme pour Iacoboni et al. (2005), la fonction du système miroir ne serait pas l'explication des actions observées mais la prédiction des actions qui vont suivre, et c'est par cette prédiction que nous accéderions au but poursuivi par autrui. Pour d'autres enfin (e.g.

Csibra, 2004), l'activité du système miroir servirait uniquement, sur la base d'informations préalables concernant le but de l'action, à déterminer la commande motrice adaptée à la réalisation de ce but. Quel que soit le rôle spécifique du système miroir, les études expérimentales ont rapporté sa sensibilité aux intentions des personnes observées, ce qui suggère au moins une relation entre le système miroir et les capacités de mentalisation. Confirmant ce point, une activité réduite du système miroir a été mise en évidence chez des enfants atteints d'autisme, caractérisés par un déficit des capacités de mentalisation, comparés à des enfants au développement typique (Dapretto et al., 2006). De plus, cette dernière étude a mis en évidence une corrélation négative entre la sévérité du trouble autistique et l'activité du système miroir.

2.3.2. Limites du rôle du système miroir dans l'explication des capacités de mentalisation

Dans la continuité des arguments présentés ci-dessus, on peut noter que deux formes de critiques ont été avancées à l'encontre du fait que le système miroir puisse constituer la base neurale de nos capacités de mentalisation. Les premières concernent des questions théoriques et logiques alors que les secondes évoquent la difficulté de cette théorie à rendre compte de certaines données expérimentales.

Limites conceptuelles

Au niveau conceptuel tout d'abord, Steinhorst et Funke (2014) soulignent que la grande majorité des études s'étant intéressées au système miroir ont été réalisées chez le singe, ce qui pose la question de la généralisation des données obtenues à l'être humain. Tout

d'abord, les états mentaux chez le singe ne peuvent être évalués, ou du moins nous n'avons aucune preuve de l'existence de phénomènes de « compréhension » associés. Ensuite, même en supposant que les singes puissent accéder à une compréhension des actions d'autrui, il serait audacieux de considérer que cette compréhension est équivalente à celle qu'en auraient des humains. Enfin, rien ne permet de conclure que l'activité des neurones miroirs est une condition nécessaire et suffisante pour la compréhension des actions d'autrui. A ces limites s'ajoutent celle formulée par Uithol, Haselager, et Bekkering (2008). Supposer que l'activité du système miroir constitue le fondement de la compréhension des actions d'autrui revient à négliger le rôle que peuvent jouer, dans l'attribution d'états mentaux, le contexte, les expériences passées et les connaissances que l'observateur possède en mémoire.

Difficultés à rendre compte de certaines observations

Des critiques relatives au fait que le système miroir puisse constituer la base neurale de nos capacités de mentalisation proviennent également de la difficulté de cette théorie à rendre compte de certaines données expérimentales. Il a, par exemple, été observé que des macaques pouvaient répondre de façon adaptée à l'action de « jeter » alors qu'ils sont incapables de la produire (Wood, Glynn, & Hauser, 2007). Il est difficile, dans ce cas, de concevoir que c'est en « vivant à la première personne » l'état d'un autre individu que les singes aient pu comprendre l'action que celui-ci manifestait. De même, chez l'humain, des données soutiennent l'existence d'une tendance à inférer spontanément des états mentaux non seulement lors de l'observation d'un congénère mais aussi lors de l'observation de stimuli bien plus rudimentaires comme des figures géométriques en mouvement (voir plus haut dans ce chapitre). A nouveau, il semble délicat d'expliquer ces inférences à partir du système miroir. Même en considérant que certains neurones miroirs (dit « broadly congruent » ou «

non congruent ») répondent pour des actions variées, nous ne disposons aujourd'hui d'aucune preuve soutenant une possible sensibilité du système miroir à la cinématique des mouvements (Uithol, Haselager, & Bekkering, 2008). Or, c'est sur la base de leurs patterns de déplacement que différents états mentaux sont attribués à ces figures géométriques. Enfin, comme le souligne Saxe (2005), en discutant l'étude d'Umiltà et al. (2001) : le fait que les neurones miroirs restent inactifs lorsqu'un observateur perçoit une action manuelle transitive alors qu'il sait qu'il n'y a pas de cible à atteindre, incite à minimiser l'implication du système miroir dans la représentation des fausses croyances. En effet, imaginons qu'un agent A regarde un agent B exécuter une action manuelle dirigée vers une cible cachée derrière un écran. L'activité du système miroir ne peut pas expliquer les croyances qu'a A de l'état mental de B puisque son système miroir réagit de la même façon selon qu'il observe B attraper une cible qui est visible ou une cible qui est cachée. De même, son système miroir réagit de la même façon à l'observation d'un mouvement effectué en l'absence de cible, que la fin du mouvement soit visible ou cachée. L'activité du système miroir semble donc être davantage dépendante des croyances que possède l'observateur sur la scène qu'il observe que des croyances de la personne observée. Pour cette raison, le système miroir paraît un mauvais candidat pour expliquer l'attribution de croyances à autrui lorsque celles-ci diffèrent de nos propres connaissances sur le monde.

L'ensemble de ces critiques incite à reconsidérer le rôle du système miroir comme support aux capacités de mentalisation. De plus, comme nous allons maintenant le détailler, une seconde vague d'études suggère l'implication d'autres structures cérébrales que le système miroir dans la compréhension des états-mentaux d'autrui.

2.3.3. Plusieurs systèmes pour la mentalisation

Brass, Schmitt, Spengler et Gergely (2007) ont réalisé une étude en neuro-imagerie (IRMf) dans laquelle ils présentaient trois types de films à leurs participants. Les films mettaient en scène une personne qui appuie sur un interrupteur à l'aide de son genou. Selon les conditions, la personne pouvait avoir les mains libres (son action étant donc difficilement compréhensible), avoir les mains occupées (condition intermédiaire), ou encore avoir les mains occupées en étant très chargée (son action étant donc facilement compréhensible). Face à ces films, aucune différence d'activation n'a été observée au niveau du système miroir des participants (régions pariétales et pré-frontales). Par contre, le sillon temporal supérieur et le cortex fronto-médian antérieur des participants s'activaient de manières différenciées et graduelles selon le type de film observé. Ces données suggèrent donc que d'autres structures cérébrales que celles du système miroir puissent montrer une sensibilité aux actions observées et à l'intention qui les précède. En conséquence, Kilner et Frith (2007) suggèrent que le système miroir serait responsable du codage du type d'action exécuté (autrement dit, il répondrait à la question « quoi ? ») tandis que le second système évoqué serait responsable de l'interprétation des raisons étant à l'origine de ces actions (il répondrait lui à la question, « pourquoi ? »). Ainsi, c'est en utilisant le terme de « mentalizing system » que l'on réfère à ce second réseau. Celui-ci soutiendrait l'inférence d'états mentaux à partir de l'observation d'autres individus et serait composé d'aires cérébrales situées au niveau du cortex fronto-médian, de la jonction temporo-pariétale et du cortex temporal antérieur (Van Overwalle & Baetens, 2009). Dans une étude en IRMf, Spunt et Lieberman (2013) ont montré qu'à la différence du système miroir, le fonctionnement du « mentalizing system » est altéré par les consignes données aux participants. Le caractère automatique de l'attribution d'états mentaux peut donc subir l'influence de processus « top-down ». Ainsi, l'activité du « mentalizing

system » en réponse à l'observation d'une scène visuelle sera différenciée selon que l'observateur y assiste passivement ou cherche activement à accéder aux raisons qui guident les comportements observés. En résumé, bien qu'il y ait eu un fort engouement lors de la découverte des neurones miroirs pour leur accorder un rôle causal dans la capacité de compréhension des actions humaines, leur implication dans ce processus est aujourd'hui fort discutée (Sinigaglia, 2013). Ce système semble pouvoir nous informer de l'état moteur et émotionnel dans lequel se trouve autrui mais d'autres structures cérébrales (comme le "mentalizing system") seraient nécessaires à la compréhension des buts privés qui déterminent le comportement.

Afin de permettre l'attribution de différentes intentions à partir des actions d'autrui, il est nécessaire que celles-ci puissent être discriminées. De nombreux buts pouvant être poursuivis dans le même contexte et supportés par la même action (par exemple, attraper un verre d'eau peut servir le but de boire ou le but de jeter de l'eau au visage d'un collègue), il faudrait donc que l'intention de l'acteur vienne affecter l'exécution de son acte moteur pour permettre à un observateur d'en déduire son état mental. Une importante littérature suggère que c'est effectivement le cas et que ces informations cinématiques peuvent servir d'indices pour faciliter les interactions sociales. Nous détaillerons cette littérature dans le prochain chapitre de cette introduction.

3. Lire l'intention d'autrui à partir de ses actions

3.1. Détecter l'intention d'autrui à partir de la forme de ses mouvements

Être capable de prédire avec précision les actions de nos congénères représente une aptitude cruciale pour permettre la réalisation d'interactions adaptées en contexte social. Le sport en est la parfaite illustration, comme le soulignent par Hari et Kujala (2009). Au football par exemple, lorsque le gardien souhaite intercepter le ballon, il doit commencer son mouvement avant que le joueur de l'équipe adverse n'ait shooté dedans, et par conséquent le gardien doit anticiper le but du joueur adverse bien avant l'exécution complète de son action.

L'effet de l'intention poursuivie par autrui sur la cinématique des mouvements a été investigué pour la première fois à la fin des années quatre-vingt (Marteniuk, Mackenzie, Jeannerod, Athenes & Dugas, 1987). Dans cette étude, les auteurs ont montré que les mouvements d'atteinte dirigés vers un objet différaient selon la finalité de l'action : jeter l'objet au loin ou le déplacer délicatement. Précisément, leurs résultats montrent que la trajectoire du bras était déformée en faveur d'une augmentation de la durée de la phase de décélération du mouvement lorsque la tâche requirait une plus grande précision. Ce résultat suggère qu'une intégration des contraintes physiques associées à la fin de l'action vient modifier précocement la production du mouvement de façon à minimiser le coût et la variabilité des performances motrices (Rosenbaum & Jorgensen, 1992). Dans la lignée de ce travail pionnier, d'autres études ont par la suite confirmé que non seulement les contraintes physiques finales de l'action en cours, mais également les caractéristiques d'une action à venir dans une organisation séquentielle, produisent une altération de la réalisation de l'action

initiale. Ce type d'influence a par exemple été observé pour des mouvements de saisie selon que les participants devaient attraper un objet pour le manger ou pour le déplacer (Naish, Reader, Houston-Price, Bremner & Holmes, 2013 ; Flindall & Gonzalez, 2014), dans le but de le soulever ou de le placer dans un réceptacle (Ansuini, Santello, Massaccesi, & Castiello, 2006 ; Johnson-Frey, McCarty, & Keen, 2004), ou encore avec l'intention de s'en servir ou de s'en débarrasser (Ansuini, Giosa, Turella, Altoe, & Castiello, 2008). Par ailleurs, la rétro-influence des contraintes associées à la finalité de la séquence d'action sur l'exécution des éléments initiaux a également été observée pour la réalisation d'un même but (déplacer un objet) mais dont les coordonnées spatiales terminales changeaient (l'objet pouvant être déposé plus ou moins loin des participants, Gentilucci, Negrotti, & Gangitano, 1997 ; Lewkowicz, Delevoye-Turrell, Bailly, Andry, & Gaussier, 2013, ou sur une cible plus ou moins grande, Rand, Alberts, Stelmach, & Bloedel, 1997). Cette influence d'un mouvement à venir sur la réalisation d'un mouvement initial dépasse le cadre des actions de manipulation d'objets et a été également retrouvée pour des comportements de pointages (Orliaguet, Viallon, Coello, & Kandel, 1996), d'écriture (Orliaguet, Kandel, & Boë, 1997), ou de signature chez les personnes mal-entendantes (Pennel, Coello & Orliaguet, 1999). De récents travaux ont par ailleurs démontré que cette influence du but terminal n'affectait pas uniquement la cinématique précoce des mouvements du bras mais également les caractéristiques manuelles (vitesse d'ouverture des doigts, taille maximale de la pince digitale, etc.) des participants (Ansuini et al., 2006). Enfin, il a été observé que la planification d'une action pouvait aussi influencer les mouvements d'une manière générale et cela même lorsque de grands intervalles temporels séparaient le début et la fin de la séquence d'action (Van Der Wel & Rosenbaum, 2007). Dans cette dernière étude, les auteurs ont observé que le comportement locomoteur des participants se dirigeant vers un objet était fonction des intentions de manipulation qu'ils

avaient de cet objet. Précisément, lorsqu'ils anticipaient un déplacement manuel important, ils terminaient leur parcours avec un mouvement du pied opposé à la direction dans laquelle ils comptaient déplacer manuellement l'objet alors qu'ils terminaient leur parcours avec un mouvement de l'autre pied lorsqu'ils anticipaient un petit déplacement manuel. De nombreuses études suggèrent donc que la façon dont nous réalisons nos mouvements est dépendante des buts que l'on poursuit. La question est maintenant de voir si les humains peuvent tirer profit de ces fines modifications cinématiques et ainsi anticiper l'intention poursuivie par une autre personne.

Les premiers travaux en laboratoire s'étant penchés sur ce problème ont montré qu'il était possible, pour un observateur, de détecter à partir des mouvements d'un individu transportant un objet si celui-ci essayait de tromper les gens qui l'entourent à propos du poids de cet objet (Runeson & Frykholm, 1983). Depuis, il est établi que le poids d'un objet (non-visible) transporté par un individu peut être précisément évalué à partir de la cinématique des mouvements de ce dernier (Maguinness, Setti, Roudaia, & Kenny, 2013; Meulenbroek, Bosga, Hulstijn, & Miedl, 2007; Runeson & Frykholm, 1983). Les informations cinématiques permettent, par ailleurs, également la prédiction d'actions à venir. Il est par exemple possible pour des participants de deviner le but d'une action exécutée bien avant que celle-ci ne soit complètement réalisée (Méary, Chary, Palluel, & Orliaguet, 2005; Lewkowicz et al., 2013). Dans leur étude, Lewkowicz et al. (2013) présentaient de courtes vidéos mettant en scène le bras d'un agent en train de réaliser un mouvement d'atteinte vers un objet (la fin du mouvement, une fois l'objet attrapé, n'était pas montrée). La tâche des participants était de déterminer, après la présentation de chaque film, si l'objet était attrapé afin d'être placé au centre de la table, à l'autre bout de la table, ou près de l'acteur. Bien que les participants rapportent un faible niveau de confiance dans leurs réponses, les résultats mettent en évidence

une capacité de ces derniers à anticiper la fin d'une action depuis ses variations cinématiques précoces (voir également Méary et al., 2005). Un certain nombre d'études récentes ont d'ailleurs montré un effet de l'entraînement sur ces capacités de prédiction (Aglioti, Cesari, Romani, & Urgesi, 2008 ; Cañal-Bruland & Schmidt, 2009 ; Jackson, Warren, & Abernethy, 2006 ; Sebanz & Shiffrar, 2009 ; Williams, Huys, Cañal-Bruland, & Hagemann, 2009). Les experts ont ainsi tendance à reconnaître et à anticiper la fin des actions qu'ils observent avec une fiabilité qui dépasse systématiquement celle des jugements de personnes novices. Enfin, Herbort, Koning, van Uem et Meulenbroek (2012) ont mis en évidence des capacités à prédire l'issue d'une action au sein d'une situation interactive. Les participants étaient plus lents pour initier leurs mouvements d'atteinte vers un objet déposé devant eux par un partenaire lorsque les actions du partenaire étaient contraintes plutôt que lorsqu'elles étaient naturelles. Ces données suggèrent que nous ne sommes pas uniquement capables de catégoriser les actions réalisées par autrui selon le but qu'elles servent mais également que nous intégrons spontanément ces informations pour la programmation de nos réponses motrices afin d'interagir efficacement.

De nombreuses études ont ainsi montré une forte sensibilité aux variations cinématiques des mouvements et la capacité à correctement, bien que souvent implicitement, anticiper de nombreuses informations à partir de l'observation des mouvements réalisés par autrui. De façon intéressante, il est possible de percevoir l'existence de ces processus complexes au quotidien. Par exemple, lorsque l'on rencontre une nouvelle personne et que l'on souhaite lui serrer la main, il est nécessaire de prédire – en temps réel – la position terminale de sa main afin d'y amener la notre (voir Figure 4). Si nous n'étions pas capables d'anticiper la finalité motrice d'une action avant que celle-ci ne soit complètement réalisée,

nous devrions attendre que l'autre personne ait fini de tendre sa main avant de pouvoir aller la lui serrer.

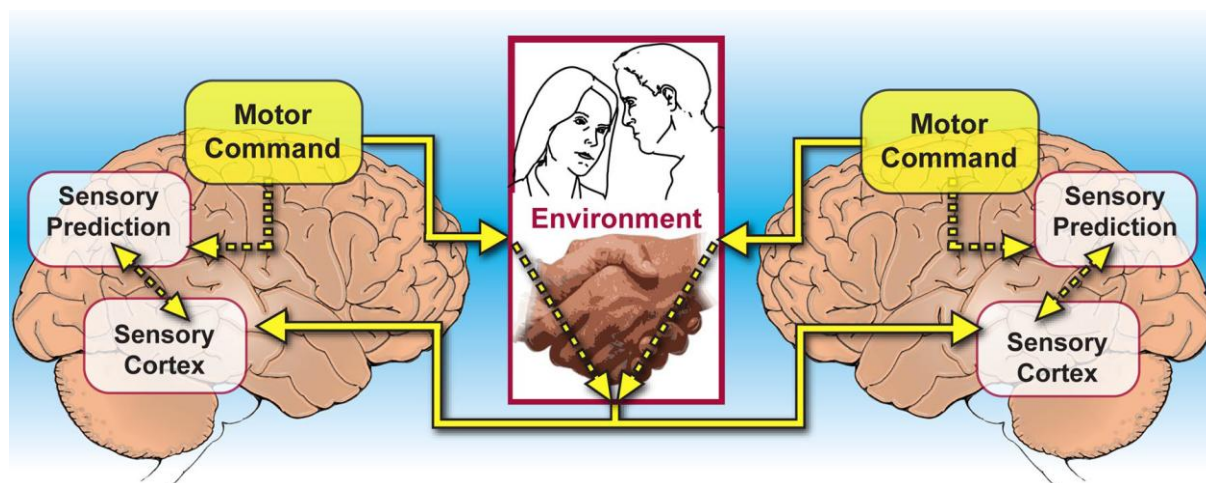


Figure 4. Représentation schématique des boucles de « perception-action » de deux personnes souhaitant se serrer la main (Empruntée à Hari et Kujala, 2009). *Avec de l'expérience, nous sommes capables d'anticiper la fin d'une action avant que celle-ci ne soit complètement exécutée. Depuis la perception des mouvements de leur partenaire, les deux personnes adaptent donc automatiquement leur propre production motrice afin que les deux mains se rencontrent.*

3.2. Peut-on détecter toutes les formes d'intention ?

Si la tendance à anticiper spontanément et précocement l'intention d'un individu à partir de ses mouvements ne fait aujourd'hui plus débat dans le monde scientifique et conforte ainsi une vision incarnée de cognition sociale (voir chapitre 2), certaines limites dans cette capacité ont toutefois été postulées.

Dans leur article d'opinion, Goldman et De Vignemont (2009) mettent en exergue les limites inhérentes, selon eux, à une conception incarnée de la cognition sociale. Ces auteurs acceptent l'idée qu'une approche incarnée de la cognition sociale puisse rendre compte de

certaines phénomènes, qu'ils qualifient de "bas niveau" de mind-reading, comme l'anticipation de comportements manifestes que souhaite réaliser une personne observée ou encore l'accès à son état émotionnel (voir Figure 5). Cependant, ils postulent également explicitement que cette approche de la cognition sociale ne peut pas expliquer des phénomènes de "haut niveau" de mind-reading comme l'inférence de buts intimes ou de croyances associées aux comportements d'autrui puisque ces derniers n'entretiennent pas de liens stables avec les systèmes moteurs ou perceptifs et ne bénéficieraient donc pas de représentations incarnées.

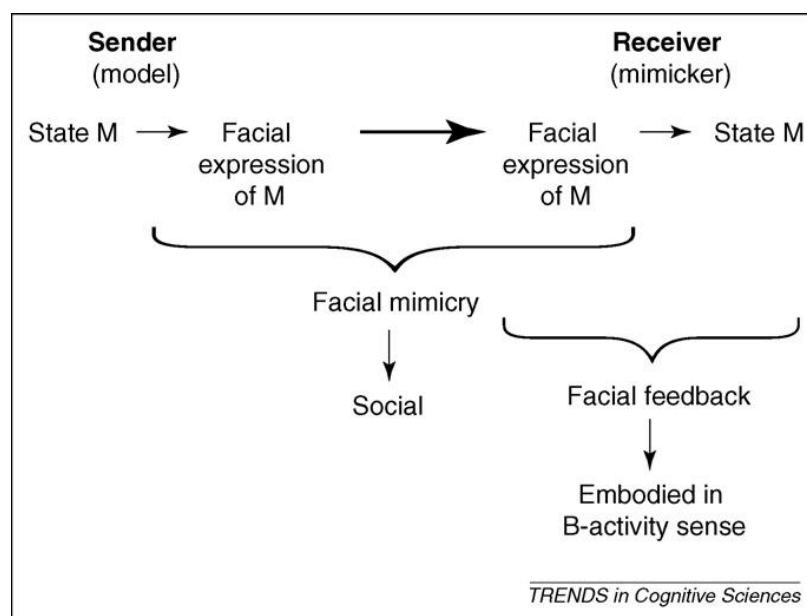


Figure 5. Illustration du phénomène de contagion émotionnelle dans un cadre incarné de la cognition sociale (Empruntée à Goldman et De Vignemont, 2009). Un émetteur (*Sender*) éprouvant un certain état émotionnel (*State M*) affiche une expression faciale congruente à son état (*Facial expression of M*). Cette expression faciale est spontanément imitée par le récepteur (*Receiver*) et, par une série de mécanismes de feedbacks, entraîne l'activation de l'état émotionnel de l'émetteur (*State M*) chez le récepteur.

Une critique similaire à l'égard de la théorie motrice de la cognition sociale a été formulée par Jacob et Jeannerod (2005). Celle-ci était plus spécifique et s'adressait

essentiellement au domaine de la lecture d'intention, au sein de laquelle les auteurs postulent une distinction fondamentale dans notre capacité à lire les états-mentaux d'autrui. Précisément, les auteurs statuent que les intentions motrices (c'est-à-dire « l'effet attendu d'une action sur l'environnement ») peuvent être correctement inférées depuis la simple observation d'actions motrices volontaires. Par exemple, il est possible de déduire si un verre d'eau est saisi pour être bu ou pour être jeté au visage de quelqu'un puisque les patterns cinématiques vont différer pour ces deux actions dès la phase d'atteinte du verre (voir précédemment dans ce chapitre). Par contre, pour Jacob and Jeannerod (2005) les intentions sociales (c'est à dire "l'effet attendu d'une action sur les congénères") ne peuvent pas être inférées depuis la simple observation d'actions motrices volontaires, puisque différentes intentions sociales peuvent être associées à la même intention motrice. Par exemple, le fait d'attraper un verre d'eau pour le poser sur une desserte est supposé être indépendant du fait que cette action soit réalisée pour permettre à un proche de saisir ce verre et boire (intention sociale) ou simplement pour avoir l'opportunité de boire soi-même plus tard (intention personnelle). Ainsi pour Jacob et Jeannerod, les intentions motrices sont identifiables à partir de l'observation des actions motrices mais pas les intentions sociales⁴.

⁴ **Le paradoxe du docteur Jekyll et de mister Hyde.**

On réfère classiquement à la distinction détaillée plus haut en parlant du paradoxe du docteur Jekyll et de mister Hyde puisque c'est à travers cette description que Jacob et Jeannerod (2005) ont initialement illustré leur propos. Dans la nouvelle écrite par Robert Louis Stevenson, le docteur Jekyll est un chirurgien renommé qui réalise des ablations sur ses patients pour les soigner mais parfois aussi dans le but de les faire souffrir, lorsque son mauvais côté - alias mister Hyde - prend le dessus. Le chirurgien réalise donc les mêmes actions motrice (saisie du scalpel, incision, etc.) mais avec des intentions différentes (soigner ou tuer). Selon Jacob et Jeannerod, les intentions motrices du docteur Jekyll et de mister Hyde sont identiques alors que leurs intentions sociales diffèrent. Un observateur intrépide pourrait donc identifier sans problème un comportement d'ablation réalisé par le chirurgien mais serait incapable de deviner si c'est le bon ou le mauvais côté de sa personnalité qui est à l'origine de cette action.

En accord avec cette approche, il est considéré que différents niveaux d'intentions sont emboîtés (de Vignemont & Haggard, 2008 ; Jacob & Jeannerod, 2005 ; Searle, 1983). Parmi ceux-ci, les intentions motrices - aussi appelées intentions d'actions (de Vignemont & Haggard, 2008) - sont extrêmement concrètes et réfèrent à l'implémentation de l'exécution d'une action volontaire. D'autres types d'intentions sont eux plus abstraits et donc privés. C'est notamment le cas des intentions sociales. Ainsi, une même intention sociale (e.g. "déranger son voisin") peut être poursuivie à l'aide de nombreuses intentions motrices (e.g. "siffler", "pousser la table", "basculer l'interrupteur", etc.) et, inversement, une même intention motrice (e.g. "pousser la table") peut permettre la réalisation de diverses intentions sociales (e.g. "se faire de la place", "aider un collègue", "gêner un collègue", etc.). Pour ces raisons, il est postulé que seules les intentions motrices peuvent être détectées depuis l'analyse des mouvements d'autrui et qu'en aucun cas un observateur ne pourrait accéder à des niveaux plus abstraits d'intentionnalité sans posséder davantage d'informations (de Vignemont & Haggard, 2008; Jacob & Jeannerod, 2005).

3.3. Arguments expérimentaux permettant de reconsidérer ces limites

Récemment, de nombreux résultats ont conduit à rediscuter les critiques faites aux conceptions incarnées de la cognition sociale. D'abord, il est aujourd'hui établi que le contexte social dans lequel se trouve un individu influence la cinématique de ses mouvements (pour une synthèse, voir Becchio, Sartori, & Castiello, 2010). Ensuite, certains travaux ont mis en évidence la possibilité d'inférer des états mentaux jusqu'alors supposés « cachés » et donc inaccessibles (e.g. Patel, Fleming & Kilner, 2012). Ainsi, Ansuini, Cavallo, Bertone et

Becchio (2014a) soutiennent qu'en confrontant les prédictions internes dérivées du contexte dans lequel est réalisée une action, il est possible pour un observateur d'identifier l'intention sociale associée à cette action sur la base de ses caractéristiques cinématiques.

3.3.1. Le contexte social influence l'action

Ces dernières années, un grand nombre d'études ont investigué le rôle du contexte social sur la planification et l'exécution des actions motrices volontaires. Initialement, les recherches ont simplement comparé les caractéristiques de mouvements réalisés en présence d'un partenaire impliqué dans la tâche expérimentale aux caractéristiques de mouvements réalisés isolément, ou encore réalisés en présence d'un observateur passif (Becchio, Sartori, Bulgheroni & Castiello, 2008b; Georgiou, Becchio, Glover & Castiello, 2007). Un intérêt particulier fut ensuite accordé aux caractéristiques du partenaire et au type de relation existant entre les différents participants impliqués dans la même situation expérimentale (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008a; De Stefani, Innocenti, Secchi, Papa, & Gentilucci, 2013; Gianelli, Scorolli, & Borghi, 2013). Ainsi, Gianelli et al. (2013) ont démontré que le degré d'intimité partagé par les participants influençait la cinématique de leurs mouvements dans une tâche de saisie. Précisément, les mouvements d'atteinte étaient réalisés plus lentement en présence d'un proche plutôt qu'en présence d'un inconnu. L'attitude du partenaire pendant l'interaction a également été identifiée comme pouvant modifier l'exécution d'actions motrices (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008a), tout comme le type de geste que manifeste le partenaire (De Stefani, Innocenti, Secchi, Papa, & Gentilucci, 2013; Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli, & Gentilucci, 2011a) et cela même lorsqu'aucune interaction sociale n'est attendue. Par exemple, les participants ont montré une tendance à réagir plus vite face à un acteur réalisant un geste "stop" que face à un acteur

réalisant un geste de requête signifiant “donne le moi dans ma main”. Ces derniers résultats pourraient être associés à l’attribution spontanée d’intentions communicatives de la part des participants (Sartori, Becchio, Bara, & Castiello, 2009) et reflèteraient ainsi une tendance à spontanément s’engager dans un processus de communication lorsqu’il se retrouve en situation d’interaction avec un autre individu. Soutenant cette interprétation, Cleret de Langavant et al. (2011) ont comparé des mouvements de pointage réalisés avec ou sans intention communicative. Ils ont mis en évidence que lorsque les mouvements étaient réalisés avec l’intention de communiquer, les participants altéraient légèrement leurs comportements de pointage de façon à prendre en compte la perspective de l’observateur par comparaison aux mêmes mouvements réalisés sans volonté d’impliquer autrui.

Une étude récente de Van der Wel, Sebanz et Knoblich (2014) a par ailleurs montré une tendance spontanée des participants à prendre en compte non seulement la perspective d’autres individus présents, mais aussi leurs croyances, pour programmer les paramètres de leurs mouvements. Les participants observaient une scène visuelle dans laquelle se trouvait un autre individu et où une cible était cachée derrière l’une des deux parois. A la fin de la vidéo, la position de la cible était révélée et les participants devaient cliquer sur elle avec le curseur de leur souris. Différentes configurations étaient possibles, soit la cible apparaissait derrière la paroi où le sujet l’avait vue terminer son parcours, soit elle apparaissait derrière l’autre paroi. Ainsi, les participants, tout comme l’agent présent dans la scène, pouvaient avoir des croyances exactes ou erronées quant à la position de la cible. Il a été montré que les trajectoires des mouvements de curseur des participants étaient sensibles aux croyances de l’individu. De plus, lorsqu’il était demandé aux participants de prêter attention aux attentes de l’autre agent, ceux-ci manifestaient des temps d’initiation plus longs lorsque leurs croyances différaient. Ainsi, en situation d’interaction sociale et par comparaison à une simple situation

de co-présence, il semblerait que nous ralentissions l'initiation de nos mouvements. Effectuant un pas supplémentaire, Becchio, Sartori, Bulgheroni et Castiello (2008b) ont étudié l'influence du type d'intention sociale poursuivi, en présence d'un partenaire, sur les comportements moteurs. Ils ont demandé à des participants de réaliser des mouvements de saisie d'un objet ovoïde pour le déposer ensuite soit dans un réceptacle concave (condition individuelle), soit dans la main ouverte d'un partenaire assis à table à côté des participants. En comparant les profils cinématiques des actions réalisées dans ces deux conditions, les auteurs observent que lorsque les participants exécutent des actions de saisie en poursuivant une intention sociale, ils ont tendance à suivre des trajectoires plus courbes et à produire des mouvements plus lents que lorsqu'ils les réalisent dans la condition individuelle.

3.3.2. L'identification de construits « cachés »

Une étude développementale conduite par Bekkering, Wohlschläger et Gattis (2000) suggère que déjà avant l'âge de cinq ans, les enfants ont tendance à interpréter spontanément les actions des individus en termes d'intentions privées, supra-ordonnées aux intentions motrices. Cette étude a été réalisée en deux temps. Dans un premier temps, un expérimentateur demandait individuellement aux enfants de « faire ce qu'il faisait ». Ils étaient assis face à face, chacun d'un côté d'un bureau rectangulaire. L'expérimentateur réalisait des mouvements du bras droit ou du bras gauche dirigés soit vers la droite, soit vers la gauche, du bureau et les enfants imitaient sans aucune difficulté ces actions. Dans un second temps, l'expérimentateur et les enfants se trouvaient à nouveau face à face, de chaque côté du bureau, mais cette fois un gros point de couleur rouge était présent à chaque coin du bureau. Ainsi, chaque mouvement de l'expérimentateur se terminait par le recouvrement de l'un des deux points de son côté du bureau par sa main droite ou par sa main gauche. Bien que

la consigne fût identique dans cette condition, les participants imitaient cette fois correctement les mouvements ipsilatéraux mais produisaient de nombreuses erreurs pour les mouvements contralatéraux. La présence de cibles sur le bureau a changé l'action que les enfants imitaient. En présence des points rouges, ils n'imitent plus les mouvements de l'expérimentateur mais plutôt le but supra-ordonné de recouvrir l'un des points. Chez l'adulte, une expérience similaire a été menée plus récemment par Ondobaka, de Lange, Wiemers, Newman-Norlund et Bekkering (2012). Deux participants jouaient face à face, chacun leur tour, sur une même tablette tactile. Dans un premier temps, deux cartes à jouer apparaissaient devant l'un des deux participants et celui-ci devait appuyer sur celle qui avait la plus forte (ou la plus faible selon les conditions) valeur. Ensuite, à l'émission d'un son, deux cartes apparaissaient devant l'autre participant et celui-ci devait, selon les conditions, soit suivre le même but que son partenaire (par exemple, en sélectionnant la carte la plus forte, si le premier a choisi la plus forte), soit suivre le but inverse (en sélectionnant donc la plus faible carte dans notre exemple). Ainsi, selon l'endroit où apparaissait les cartes de son côté, le second participant pouvait donc produire un mouvement congruent ou un mouvement incongruent à celui qu'il venait d'observer chez son partenaire. Les résultats ont mis en évidence un effet d'interaction entre la congruence spatiale des réponses des deux participants et les intentions qu'ils poursuivaient. Précisément, les temps de réaction des participants étaient plus courts lorsqu'ils produisaient des mouvements congruents à ceux qu'ils venaient d'observer chez leur partenaire, mais cela uniquement lorsqu'ils poursuivaient la même intention que ce dernier. À nouveau, ces données soutiennent l'existence d'influences de différents niveaux d'intentions sur la préparation d'actions motrices volontaires. Dans cette étude, l'inférence faite par le second agent du but poursuivi par le premier était déduite du contexte. Des travaux suggèrent cependant qu'il est possible d'accéder à l'intention privée d'un individu en l'absence

d'indices contextuels et d'informations préalables, uniquement sur la base des caractéristiques des mouvements qu'il exécute.

A ce sujet, Sartori, Becchio et Castiello (2011) ont analysé la capacité de participants à détecter les intentions associées à la réalisation d'actions motrices à l'aide d'un paradigme de catégorisation de vidéos. La tâche des participants était de discriminer les mouvements de saisie réalisés seul, à faible ou à grande vitesse, des mouvements de saisie réalisés en présence d'un partenaire, avec l'intention de coopérer ou d'être compétitif. Les résultats suggèrent que les participants étaient capables de catégoriser les actions motrices observées selon les intentions privées qui étaient à leur origine avec une précision qui dépasse celle d'une catégorisation au hasard. De plus, dans une seconde étude Manera, Becchio, Cavallo, Sartori et Castiello (2011) ont observé que les performances des participants n'étaient pas altérées par la présentation de versions en "point light display" de leurs vidéos. Ce contrôle, en rendant non-accessibles les informations relatives aux expressions faciales des personnes présentes sur les vidéos, suggèrent que c'est bien sur la base d'informations cinématiques que reposent les jugements des participants. Enfin, Patel, Fleming et Kilner (2012) ont montré qu'il était possible d'inférer des états mentaux complexes à partir des mouvements d'individus observés. Dans leur étude, les auteurs ont filmé les réponses manuelles de participants réalisant une tâche de discrimination visuelle. Les participants répondaient en déposant une petite bille sur l'un des deux boutons de réponse et évaluaient à la fin de chaque essai la confiance qu'ils avaient dans la décision qu'ils venaient de prendre. Ensuite, les films étaient présentés à l'ensemble des participants et il leur était demandé d'estimer le niveau de confiance de l'acteur pour chacun des essais observés. Les données montrent que les participants sont capables de catégoriser correctement les mouvements qu'ils observent en fonction de la

confiance qu'ils infèrent aux acteurs et cela bien qu'il ne s'agisse plus ici de simples jugements dichotomiques.

Ainsi, puisqu'il a été démontré de façon répétée que le contexte social dans lequel se trouve un individu influence la cinématique de ses mouvements et puisque des données soutenant l'existence de capacités à inférer des états mentaux « privés » à partir de fines variations cinématiques s'accumulent, il est probable qu'un observateur puisse, à partir de simples informations cinématiques, accéder à des niveaux d'intentions plus abstraits que celui des intentions motrices et notamment aux intentions sociales. Cependant, comme nous allons le détailler dans le prochain chapitre, d'importantes limites méthodologiques inhérentes aux études passées doivent être prises en compte pour permettre la mise à l'épreuve scientifique de cette hypothèse.

4. Des challenges méthodologiques à surmonter

4.1. Isoler l'intention sociale de l'intention motrice

Comme spécifié précédemment, Becchio et al. (2008b) ont comparé les mouvements de participants saisissant un objet afin de le déposer dans un receptacle ou dans la main d'un partenaire. Les mouvements des participants étant socialement dirigés ou non, selon les conditions, les auteurs ont conclu que les différences cinématiques observées relevaient du fait d'endosser une intention sociale ou au contraire une intention personnelle. Cependant les deux conditions différaient également sur d'autres caractéristiques et d'autres explications peuvent donc être avancées pour justifier les différences observées. Jacob (2013) a par exemple mis en lumière le fait que les caractéristiques physiques – et donc les contraintes physiques qui y sont associées – n'étaient pas identiques pour les deux cibles sur lesquelles les participants devaient déposer l'objet. Une main est plus molle et plus mobile qu'un réceptacle en plastique et à l'inverse, le réceptacle est davantage symétrique que la main. Pour Jacob, les effets rapportés dans l'étude de Becchio et al. (2008b) pourraient ainsi résulter des contraintes physiques associées aux mouvements et n'être par conséquent pas l'expression de différentes intentions sociales mais simplement celles de différentes intentions motrices. La critique faite par Jacob (2013) vaut en réalité pour l'ensemble des études s'étant intéressées aux différences cinématiques selon que les mouvements étaient réalisés pour soi même ou pour autrui (Becchio et al., 2008b; Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli, & Gentilucci, 2011b; Lewkowicz et al., 2013). Dans ces études, l'intention sociale est en effet systématiquement confondue avec l'intention motrice. Il est vrai que la plupart du temps nous réalisons des actions motrices différentes selon le type d'intentions sociales que nous poursuivons mais nous pouvons dans certaines situations réaliser le même mouvement (e.g.

« appuyer sur un interrupteur ») pour servir différentes intentions sociales (e.g. « signifier notre présence à autrui » ou « tester la latence d’allumage d’une ampoule »). Afin d’investiguer avec précision les variations cinématiques imputables aux types d’intentions sociales poursuivies, il est donc nécessaire d’inventer un paradigme expérimental permettant de moduler les intentions sociales tout en maintenant constant l’ensemble des contraintes physiques associées à la tâche.

4.2. Un changement de perspective nécessaire pour parler de lecture d’intention

Les expériences de lecture d’intention mentionnées dans cette introduction reposent généralement sur un paradigme similaire. De courtes vidéos (dont la fin est parfois occultée), représentant un individu (ou juste l’un de ses membres) en mouvement, sont présentées aux participants et il leur est demandé d’en déduire l’intention poursuivie par l’acteur sur chacune des vidéos. Les participants répondent à l’aide de différentes touches d’un clavier ou d’un boîtier de réponse selon qu’ils pensent que l’acteur agissait selon une intention ou une autre. Bien que les résultats obtenus à l’aide de ce type de paradigme soient souvent interprétés comme la preuve d’une lecture possible des intentions d’autrui, Ohbi (2012) en rappelle les limites. Tout d’abord, il s’agit systématiquement de tâches de catégorisation de stimuli selon plusieurs (souvent deux) labels. Le choix des interprétations des comportements observés est donc expérimentalement contraint et là où un participant pourrait par exemple percevoir l’intention de « lever l’objet » chez l’acteur, il ne lui est donné l’opportunité que de choisir entre les labels « jeter l’objet » et « déplacer l’objet ». Le fait que les intentions à discriminer dans la tâche soient connues d’avance par les participants ne constitue cependant pas la seule

limite. Une seconde lacune concernant la validité externe de ces études vient du faible nombre de réponses possibles. Dans une tâche de jugement dichotomique, il est donc tout à fait possible que les participants ne répondent pas selon l'intention qu'ils perçoivent (e.g. « ce mouvement à l'air compétitif ») mais plutôt selon l'application d'une règle de catégorisation de bien plus bas-niveau (e.g. « ce mouvement est rapide »). Enfin, lorsque l'on s'intéresse aux réponses explicites des participants, on récolte davantage d'informations sur ce que les participants pensent et peuvent verbaliser de leurs capacités de cognition sociale que sur ces capacités en elles-mêmes. Face à ces limites, un changement de la perspective classique de la « troisième personne » à la « seconde personne » (voir Figure 6) a récemment été jugée comme étant une absolue nécessité dans le champ de la mentalisation (Ansuini et al., 2014b; De Jaegher, Di Paolo & Gallagher, 2010; Schilbach, 2010). Ce n'est qu'à travers ce nouveau type de paradigme, impliquant directement les participants, qu'il sera possible d'investiguer ce qui est échangé par différents individus en interaction.

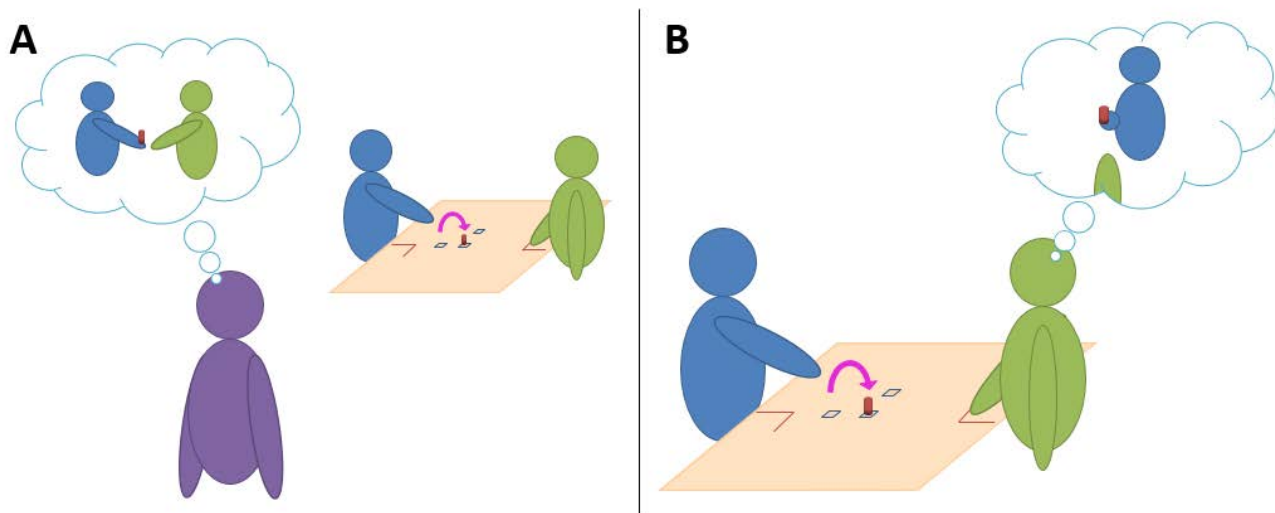


Figure 6. Illustration des perspectives à la « troisième personne » (A) et à la « seconde personne » (B). *Les paradigmes expérimentaux classiquement utilisés pour investiguer les capacités de mentalisation utilisent une perspective à la « troisième personne ». Si les participants sont capables de catégoriser correctement les stimuli qui leur sont présentés avec une performance au dessus du niveau du hasard, rien n'est cependant dit sur les capacités des participants à comprendre l'intention poursuivie par l'acteur qu'ils observent. Passer d'une perspective à la « troisième personne » à une perspective à la « seconde personne » permettrait de distinguer les capacités de mentalisation de simples capacités de catégorisation. Par exemple, si l'intention sociale peut être perçue depuis l'observation des mouvements d'un partenaire dans une tâche de coopération, le comportement des participants devrait en être influencé en conséquence (ce qui se traduirait par des effets de facilitations ou d'interférences sur la production de leurs propres mouvements selon l'intention qu'ils ont identifiée).*

Suivant cette conception, certaines études se sont attachées à tester comment les participants réagissaient face à la présentation de stimuli sociaux plutôt que de s'intéresser à leur capacité à les discriminer explicitement. Par exemple, Manera, Del Giudice, Bara, Verfaillie et Becchio (2011) ont montré que la perception d'un mouvement réalisé avec une visée communicative pouvait préparer la personne qui le détectait à s'impliquer dans une interaction sociale. En particulier, les auteurs ont montré que face à des vidéos en "point light display" de deux acteurs, la détection du second est facilitée lorsque le premier réalise un geste communicatif, par comparaison à une condition contrôle comprenant un geste non-

communicatif. Une autre avancée méthodologique dans l'exploration des capacités humaines en situation d'interaction a été réalisée par Streuber, Knoblich, Sebanz, Bühlhoff et de la Rosa (2011). Dans cette étude, les participants jouaient au tennis de table dans une salle plongée dans le noir où seuls la table, le filet et la balle étaient rendues visibles (via l'utilisation de peinture fluorescente) et où, selon les conditions, le corps des joueurs pouvaient être visible ou non lui aussi. A l'aide de ce paradigme innovant, il a pu être montré un usage différencié des informations visuelles lorsque les participants suivaient le but de gagner contre leur adversaire, où l'accès à la globalité du corps était avantageux, et lorsqu'ils cherchaient à produire le plus d'échanges possibles avec celui-ci, où l'accès visuel à la position de la main de leur partenaire se révélait déterminant. Pour Ansuini, Cavallo, Bertone et Becchio (2014b), c'est uniquement à travers ce genre de paradigme, en immergeant les participants au sein de situations interactives, qu'il sera possible d'accéder aux réelles capacités humaines de cognition sociale. Ainsi, le développement de situations interactives, où les participants endossent une perspective à la « seconde personne », doit être une forte ligne de conduite pour les études à venir.

5. Problématique générale de la thèse

Cette thèse s'inscrit dans une approche incarnée de la cognition sociale (voir chapitre 2), postulant qu'il est possible d'avoir un accès direct aux intentions d'autres personnes sur la seule base de l'organisation des actions motrices volontaires qu'ils effectuent. Nous avons pu voir que certaines limites théoriques avaient été postulées dans le cadre de cette conception de la mentalisation (voir chapitre 3). Il est par exemple proposé que les phénomènes de résonance motrice et les tendances à l'action activées en situation d'interaction sociale (voir chapitre 1) puissent rendre compte de bas-niveaux de mentalisation mais qu'ils ne puissent en aucun cas soutenir des processus dits de haut-niveau comme l'inférence d'intentions sociales. Nous faisons l'hypothèse que ce dernier type de mentalisation peut lui aussi émerger spontanément à partir des interactions sensori-motrices et qu'il ne requiert pas nécessairement l'implication de processus réflexifs conscients, ni l'usage de théories naïves pré-existantes en mémoire. Pour tenter de démontrer cela, nous avons pris en considération les limites méthodologiques rencontrées dans la littérature scientifique (voir chapitre 4) et avons conçu un paradigme expérimental permettant à la fois de dissocier les intentions motrices des intentions sociales et de mettre plusieurs individus en interaction (voir partie suivante). Nous faisons l'hypothèse que les mouvements volontaires humains sont influencés par le type d'intentions sociales qui est poursuivi (étude 1). Précisément, et sur la base des études présentées dans l'introduction, nous supposons que lorsqu'un mouvement est réalisé avec l'intention d'affecter un autre individu, ses caractéristiques cinématiques sont modulées par comparaison à un mouvement qui est réalisé pour soi-même. Puisque ces variations cinématiques entraînent un coût énergétique non-optimal d'un point de vue individuel, il est nécessaire que celles-ci aient au moins un bénéfice d'un point de vue inter-individuel pour

justifier leurs occurrences. Ainsi, nous postulons que ces variations ont pour fonction de transmettre au partenaire des informations relatives à l'intention sociale de façon à lui donner la possibilité de réaliser une réponse motrice adaptée, et en conséquence d'optimiser l'interaction sociale. De par le rôle majeur occupé par le regard dans les interactions sociales humaines, nous nous attendons à ce que les déformations cinématiques dues au fait d'endosser une intention sociale soient dépendantes de la hauteur des yeux du partenaire vers qui est dirigée l'action motrice (étude 2). Si ces variations cinématiques sont consistantes, il devrait alors être possible pour un observateur de tirer profit de ces légères déviations cinématiques pour l'implémentation de ses propres actions (étude 3). En particulier, nous nous attendons à ce que l'on réagisse plus rapidement après la production du mouvement d'un partenaire si celui-ci était socialement dirigé plutôt que s'il était réalisé en l'absence d'intention sociale. Enfin, en référence à l'approche sensori-motrice du développement des capacités de mentalisation qui est défendue dans ces recherches, nous faisons l'hypothèse que les différences inter-individuelles que l'on pourrait observer dans la capacité des participants à extraire les informations sociales depuis la cinématique des mouvements sont reliées à des différences inter-individuelles concernant des niveaux plus abstraits de cognition sociale, comme la capacité à se représenter explicitement les états mentaux d'autrui (étude 4). Ainsi, à travers cette démarche expérimentale, nous visons à mettre en évidence l'existence d'une base sensori-motrice des capacités de mentalisation dites de « haut-niveaux ».

PARTIE

EXPÉRIMENTALE

Préambule

Méthodologie générale de la thèse

Dans les prochains paragraphes, nous allons nous attacher à décrire la méthodologie générale adoptée dans les travaux de cette thèse. Dans un premier temps, nous détaillerons la technologie de capture du mouvement. Ensuite, nous présenterons la tâche expérimentale qu’avaient à réaliser les participants dans la majorité des études présentées ici.

Capture du mouvement

Pour l’ensemble de nos études, nous avons utilisé des caméras 3D de la marque Qualisys, qui constituent un système optique de capture du mouvement. Quatre caméras, branchées en série, étaient fixées autour du dispositif expérimental de façon à entourer les participants afin d’avoir le moins d’occlusion possible. Chacune des caméras est équipée d’un dispositif émetteur de rayons infra-rouges ainsi que d’un récepteur. De petits marqueurs réfléchissant les rayons infra-rouges sont collés sur la main dominante des participants. De par le caractère réfléchissant de ces marqueurs, les rayons émis par les caméras et rencontrant un marqueur sont renvoyés vers les caméras émettrices. Chaque caméra a ainsi accès à la position des capteurs présents dans son angle de vue dans un repère en deux dimensions. De par la mise en commun des informations de plusieurs caméras (rendue possible par une phase de calibration du système préalable à chaque passation), il est possible d’avoir accès aux positions des marqueurs dans un repère en trois dimensions. Les caméras utilisées permettent l’acquisition de deux cents images par seconde et nous ne validons la calibration du système

que lorsque nous obtenions une erreur de précision spatiale inférieure à 0.2 millimètres. Les caméras et marqueurs sont visibles sur la Figure 7, illustrant le dispositif expérimental.

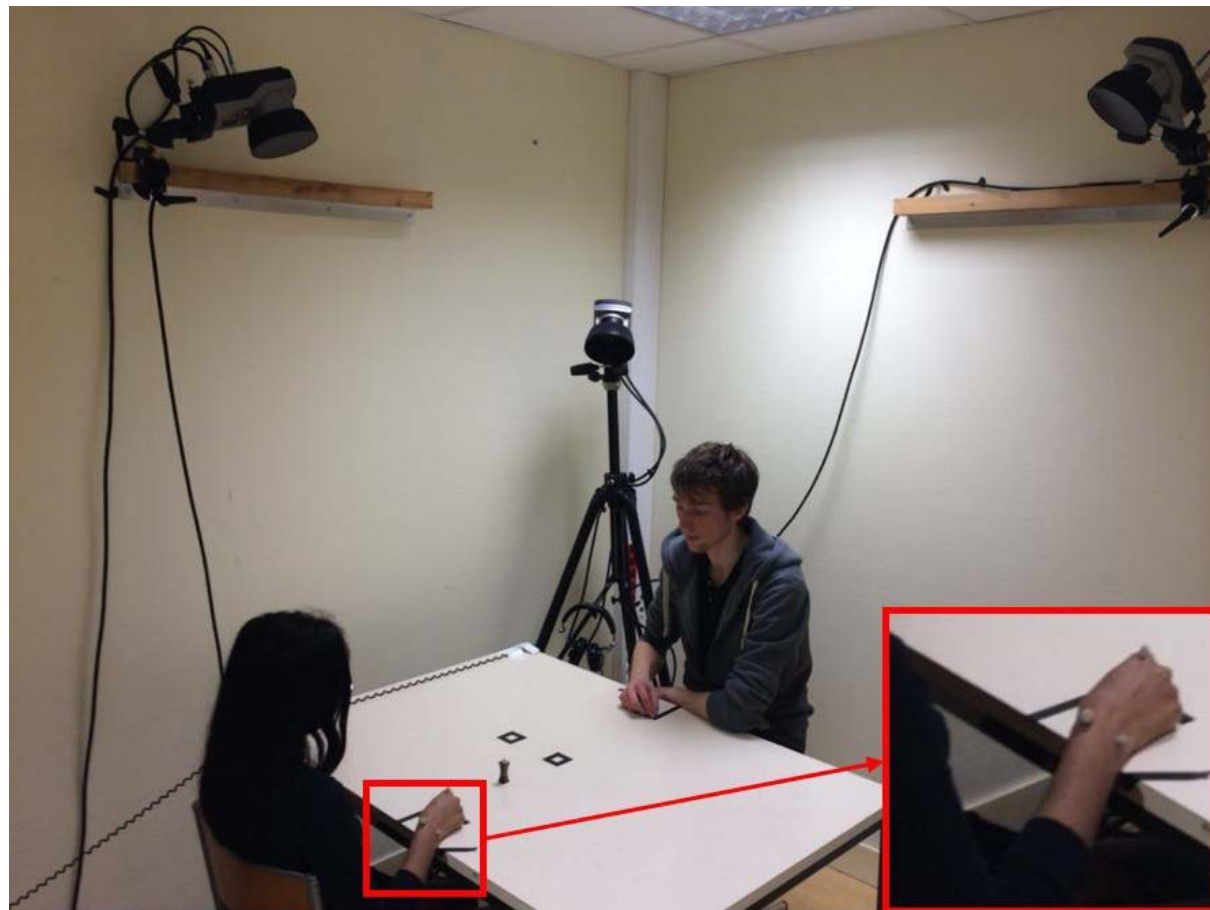


Figure 7. Illustration du dispositif expérimental généralement utilisé durant la thèse. *Deux participants sont assis face à face, de chaque côté de la table. Ils déplacent successivement un petit totem en bois sur différentes cibles, marquées à l'aide de ruban adhésif de couleur. Des marqueurs réfléchissant aux infra-rouges sont placés sur la main des participants et 4 caméras infra-rouges entourent le dispositif afin de récupérer en temps réel les positions des marqueurs dans l'espace 3D.*

Dispositif expérimental

Les participants étaient assis face à face de chaque côté d'une table (parfois, il s'agissait de binômes de participants, parfois les participants étaient accompagnés de l'expérimentateur). Ils posaient leur main droite, laquelle formait une pince avec le pouce et

l'index, sur une cible (délimitée avec du ruban adhésif de couleur, voir Figure 7) sur leur bord de la table. Au début de l'expérience, les participants se voyaient chacun attribuer un rôle auquel nous référerons ici à l'aide des termes d'Acteur et de Partenaire. Les participants n'étaient pas au courant de ces dénominations et dans les études où ils prenaient part à l'expérience en compagnie de l'expérimentateur, il leur était systématiquement attribué le rôle de l'Acteur. L'expérience se terminait une fois qu'un certain nombre d'essais, fixé en amont, était atteint. Un essai se décompose en trois actions de déplacement d'un petit totem en bois, à réaliser successivement et toujours dans le même ordre en suivant l'émission de différents signaux sonores. Chaque essai commence avec le totem posé en position initiale.

La première action à réaliser, appelée *Action préparatoire*, était toujours effectuée par l'Acteur et consistait à attraper le totem en position initiale pour le déposer en position centrale (voir Figure 8). Aucune contrainte temporelle n'était associée à cette action et il était spécifié aux participants qu'elle n'avait aucune importance pour l'expérience, elle permettait juste d'annoncer la mise en place d'un nouvel essai. Après avoir placé le totem en position centrale, l'acteur reposait sa main sur la cible devant lui.

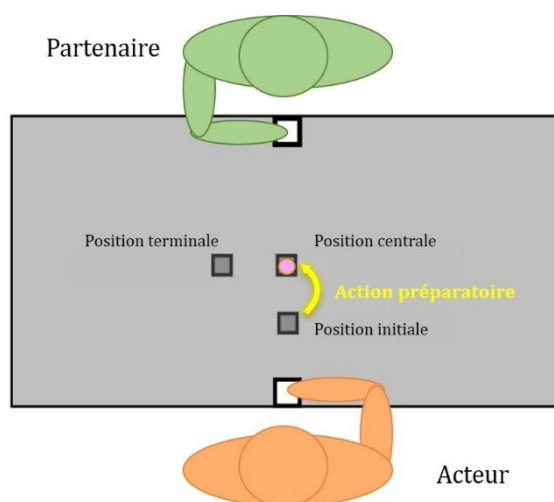


Figure 8. Illustration de l'*Action préparatoire*. Cette action est toujours réalisée par l'Acteur et consiste au déplacement du totem de la position initiale à la position centrale, sans aucune contrainte temporelle.

La seconde action à réaliser, appelée *Action principale*, pouvait être effectuée par l'Acteur ou par le Partenaire, en fonction des sons émis pour la déclencher (e.g. bip aigu/Acteur, bip grave/Partenaire). Cette action consistait à attraper le totem en position centrale pour le déposer en position terminale et il était précisé qu'elle devait être réalisée le plus vite possible (voir Figure 9). Il était dit aux participants que cette action permettait de gagner des points et donc de se rapprocher de la fin de l'expérience. Après avoir déplacé le totem en position terminale, l'Acteur ou le Partenaire (selon les essais) reposait sa main sur la cible devant lui.

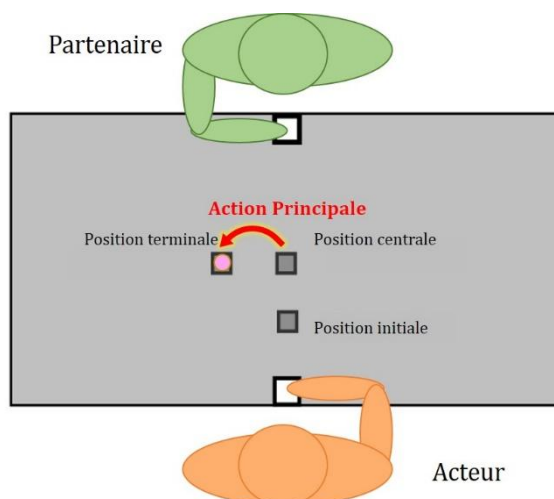


Figure 9. Illustration de l'*Action principale*. Cette action peut être réalisée par l'Acteur ou par le Partenaire et consiste à déplacer le totem de la position centrale à la position terminale, le plus vite possible.

La troisième action de la séquence constituant un essai, appelée *Action de rangement*, était toujours effectuée par l'Acteur et consistait à attraper le totem en position terminale pour le déposer en position initiale (voir Figure 10). Aucune contrainte temporelle n'était associée à cette action et il était spécifié aux participants qu'elle n'avait aucune importance pour l'expérience, elle permettait juste de remettre le dispositif en place pour enchaîner sur un

nouvel essai. Après avoir placé le totem en position initiale, l'Acteur reposait sa main sur la cible devant lui.

L'enchaînement de ces trois actions permet de manipuler l'intention sociale de l'Acteur en gardant constante l'intention motrice qu'il poursuit. Selon la personne qu'il s'attend à voir réaliser l'*Action principale* (via l'accès à des informations explicites par exemple), l'Acteur va placer le totem en position centrale lors de l'*Action préparatoire* en poursuivant une intention sociale ou une intention personnelle.

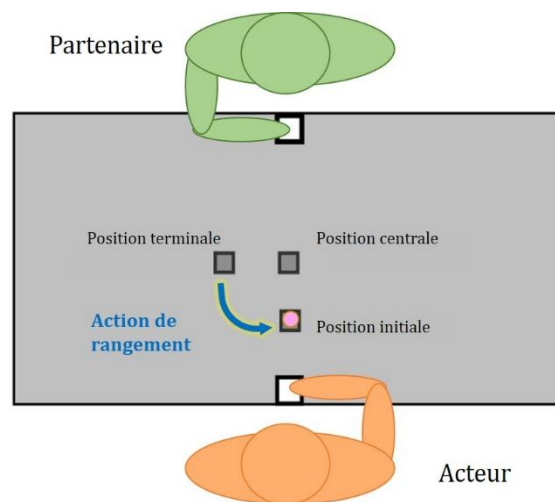


Figure 10. Illustration de l'*Action de rangement*. Cette action est toujours réalisée par l'Acteur et consiste au déplacement du totem de la position initiale à la position centrale, sans aucune contrainte temporelle.

Présentation de la partie expérimentale

L'ensemble des études présentées au sein de ce manuscrit a déjà fait l'objet de publications dans des revues internationales à comité de lecture et elles seront donc toutes présentées en langue anglaise puisque c'est sous cette forme qu'elles ont reçu l'aval de la communauté scientifique. Cette thèse prendra donc la forme d'une thèse sur article et la numérotation des figures et tableaux devient donc relative à chaque article à partir de ce point.

Afin de clarifier la lecture du document, chaque étude sera précédée d'un avant-propos résumant le cadre théorique et les hypothèses qui vont être testées.

Enfin, un article de synthèse, articulant l'ensemble des études de ce manuscrit est présenté en annexe.

Avant-propos :

Étude 1 - effet de l'intention sociale sur la cinématique des actions motrices volontaires.

Cette première étude a pour but de tester l'hypothèse principale de cette thèse qui est que la cinématique des mouvements d'un agent est affectée par le type d'intention sociale que celui-ci poursuit. Comme nous avons pu le détailler dans la partie introductive, les intentions motrices ont souvent été manipulées conjointement avec les intentions sociales lors de l'investigation de ces dernières, empêchant toute conclusion tranchée. Afin de prévenir au maximum l'influence de toute variable confondue, nous avons opposé de nombreuses conditions expérimentales au sein desquelles nous contrôlions progressivement les effets que pouvait entraîner le fait d'agir avec une autre personne. Les participants étaient ainsi assis à table et avaient pour consigne de réaliser une séquence d'actions consistant à déplacer un petit totem en bois d'une position à une autre en réponse à différents stimuli auditifs (voir description du dispositif expérimental, dans le préambule de la partie expérimentale du manuscrit). Ils pouvaient exécuter ces actions seuls ou en présence d'un partenaire (ce qui permet d'investiguer le simple effet d'audience), qui pouvait être spatialement distant ou proche des participants (ce qui permet d'investiguer l'effet d'agir à proximité d'un partenaire) et qui pouvait avoir à réaliser ou non l'*Action principale* de la séquence (ce qui permet d'investiguer l'effet de l'intention sociale sur les mouvements de l'*Action préparatoire*). Par ailleurs, le partenaire pouvait agir de façon systématique, ou non, au cours d'une session expérimentale (ce qui permet d'investiguer l'effet de l'imprédictibilité de l'environnement entraînée par la coaction avec autrui dans un environnement restreint). Enfin, de façon tout à fait intéressante et à l'inverse de ce qui est fait dans l'ensemble des études présentées en introduction, les analyses portent ici principalement sur un mouvement préparatoire (*Action*

préparatoire), non pertinent pour la tâche que les participants pensaient mener à bien (*Action principale*) et exécuté sans aucune contrainte temporelle.

Etude 1:

Effects of social intention on movement kinematics in cooperative actions

Abstract

Optimal control models of biological movements are used to account for those internal variables that constrain voluntary goal-directed actions. They however do not take into account external environmental constraints as those associated to social intention. We investigated here the effects of the social context on kinematic characteristics of sequential actions consisting in placing an object on an initial pad (preparatory action) before reaching and grasping as fast as possible the object to move it to another location (main action). Reach-to-grasp actions were performed either in an isolated condition or in the presence of a partner (*audience effect*), located in the near or far space (*effect of shared reachable space*), and who could intervene on the object in a systematic fashion (*effect of social intention effect*) or not (*effect of social uncertainty*). Results showed an absence of *audience effect* but nevertheless an influence of the social context both on the main and the preparatory actions. In particular, a “localized” *effect of shared reachable space* was observed on the main action, which was smoother when performed within the reachable space of the partner. Furthermore, a “global”

effect of *social uncertainty* was observed on both actions with faster and jerkier movements. Finally, *social intention* affected the preparatory action with higher wrist displacements and slower movements when the object was placed for the partner rather than placed for self-use. Overall, these results demonstrate specific effects of action space, social uncertainty and social intention on the planning of reach-to-grasp actions, in particular on the preparatory action, which was performed with no specific execution constraint. These findings underline the importance of considering the social context in optimal models of action control for human-robot interactions, in particular when focusing on the implementation of motor parameters required to afford intuitive interactions.

Introduction

It's five o'clock and a waiter is faced with the task of clearing a littered table, after a group of customers depart. Through experience, the waiter has learned to produce grip force levels that are adapted to the needs of commonly manipulated objects and to follow hand trajectories that are adapted to the cluttered environment. Empirical studies in laboratory settings have confirmed that physical parameters of an object such as size (Armbrüster & Spijkers, 2006 ; Chieffi & Gentilucci, 1993 ; Marteniuk, Leavitt, MacKenzie, & Athenes, 1990 ; Pryde, Roy & Campbell, 1998), weight (Eastough & Edwards, 2007), shape (Gentilucci et al., 1991) and even texture (Fikes, Klatzky, & Lederman, 1994) influence the dynamical aspects of motor performance, in particular the reach-to-grasp motor kinematics. Nevertheless, other internal variables have also been shown to modify motor planning of reaching actions such as the comfort of final posture (Rosenbaum et al., 1990) and the smoothness of movement trajectory (Flash & Hogan, 1985). Most importantly for the matter here, the intention that drives an action can also modulate motor kinematics (Becchio, Sartori, Bulgheroni & Castiello, 2008a). Indeed, our waiter may not grasp a glass in the same way if he has the intention to give it to a customer (in this case, the movement may be slow and accurate) or to grip it quickly to put it on a large shelf in order to clean the table before the arrival of the next set of customers. Hence, intention in action as described by Searle (1983) and Jeannerod (2006) represents one category of internal variables that may substantially influence the planning of voluntary action because it encapsulates the fundamental reason of acting.

It is the case that these internal parameters are poorly taken into account in the computational modeling of motor control. Indeed, optimal control models of biological

movement are successful in predicting empirical findings such as movement adjustments to unexpected changes in object position or size, and/or responses to global perturbations (Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994), and also in modelling the structure of motor variability in function of the physical properties of an object and/or its environment (Gordon, Ghilardi, & Ghez, 1994; Messier & Kalaska, 1999 ; Van Beers, Haggard & Wolpert, 2004) as well as the generic motor laws associated to a given situation (Lacquaniti, Terzuolo, & Viviani, 1983). However, optimal control models are poorly adapted to predict the empirical data obtained in interactive situations (Friston, 2011), rendering human-robot interactions massively unidirectional (Chaminade & Cheng, 2009). Indeed, during social interaction, Boucher et al. (2012) showed that human agents placed in a cooperative context are sensitive to the predictive information provided by the direction of gaze of their partners, even when interacting with robots. Furthermore, motor intention influences movement kinematics in such a way that not only the goal of individual actions can be anticipated by a perceiver (Lewkowicz, Delevoye-Turrell, Bailly, Andry & Gaussier, *in press*), but also coordinated actions involving several agents can be performed (Knoblich & Sebanz, 2008; Vesper, Butterfill, Knoblich & Sebanz, 2010). Thus, it seems important for artificial social intelligence to develop (1) our knowledge of the specific effects that motor intention has on movement kinematics during a true social interactive task and (2) to provide solid guidelines for the development of optimal control models that will be able to implement intention in action in those artificial agents that need to cooperate intuitively with biological organisms.

The effect of motor intention on arm kinematics is a phenomenon that was first reported by Marteniuk and collaborators in the late 1980's (Marteniuk, Mackenzie, Jeannerod, Athenes & Dugas, 1987). In this study, they showed that reach-to-grasp movements towards an object differed according to whether the grasped object was afterwards thrown away into a

large box or placed into a well. More specifically, results showed that the arm trajectories (i.e., the resultant velocity profile of the wrist) were modulated with an increase in duration of the main deceleration phase of the trajectory when task demands required greater precision. These results did not support a simple scaling procedure in the temporal domain as what would be expected with the optimal control models of biological movements. Rather, their results supported a view of movement production as relatively specific to the past experiences of the performer and the constraints of the future task. In the continuity of this pioneering study, other studies later reported that not only the final intention but also the characteristics of the second component of a sequential movement could lead to early variants in the first component of the sequence. The effects of a second movement on the first were described in non-manipulative tasks i.e., pointing (Orliaguet, Viallon, Coello & Kandel, 1996) and writing (Orliaguet, Kandel & Boë, 1997). This back propagation effect was also shown in grasping movements when participants were required to grasp (1) an object to eat it or move it (Naish, Reader, Houston-Price, Bremner & Holmes, 2013), (2) an object to lift or insert it into a niche (Ansuini, Santello, Massaccesi & Castiello, 2006), or (3) a bottle with the intention to use it or to dispose from it (Schuboe, Maldonado, Stork & Beetz, 2008; Ansuini, Giosa, Turella, Altoe & Castiello, 2008). More recent studies have finally shown that the final purpose of a grasping action strongly influence the kinematics of both the transport phase and the characteristics of the hand shaping, i.e. the manipulation component (Ansuini et al., 2006). As a consequence, when observing an action performed by someone else, it seems possible from early kinematics to anticipate the goal of the action, i.e. much before the entire action is accomplished (Méary, Chary, Palluel & Orliaguet, 2005; Lewkowicz et al., *in press*; Manera, Becchio, Cavallo, Sartori & Castiello, 2011; Sartori, Becchio & Castiello, 2011).

Recently, Georgiou and collaborators (Georgiou, Becchio, Glover & Castiello, 2007) showed that the social context while performing a voluntary motor action has also an effect on the kinematics of a reach-to-grasp component of a motor sequence. More specifically, they found that the kinematics of an identical motor action (reaching-to-grasp a wooden block) was different in a cooperative versus a competitive task, and both kinematics patterns could be distinguished from a similar action performed by the participants in isolation. In the same vein, an effect of social intention was reported for movement kinematics when comparing reach-to-grasp actions in a social (passing an object to another person) and a non-social context (putting an object in a concave base, Becchio, Sartori, Bulgheroni & Castiello, 2008a). Furthermore, social affordances can affect movement kinematics even when no social interaction is expected (Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli & Gentilucci, 2011a). In fact, the mere presence of an active conspecific appears sufficient in certain cases to induce changes in movement kinematics (Gianelli, Lugli, Baroni, Nicoletti & Borghi, 2011). In particular, when participants were requested to grasp an object and then move it to a container, the presence of a person unexpectedly stretching out the arm – as for a social request – affected motor kinematics of those actions that were directed towards the object only (Sartori, Becchio, Bulgheroni & Castiello, 2009). Interestingly, this pattern of results was not observed when humans interacted with robotic agents, a situation that influenced neither arm trajectories, nor kinematic profiles, suggesting a lack of true social interaction when humans interact with robotic systems. Considered together, these data support the view that specific kinematic patterns characterize and distinguish actions performed in a social and communicative context from those actions executed with a purely individual intent. One reason for this effect of social context on kinematics could be that communicative actions are intended to be identified by a partner and to engage him/her in a communication process

(Sartori, Becchio, Bara & Castiello, 2009). Accordingly, by simply observing the movements performed by others, one might be able to comprehend what they are planning to do and thus, know how one should act in response (Becchio et al., 2012). This point of view fits well with the observation that social effects on reach-to-grasp movement depend on the spatial location of the other person. In particular, latencies in responding have been shown to be significantly shorter when partners are in positions allowing them to easily reach for the object (Gianelli, Scorolli & Borghi, 2013). Although the presence of another person can influence the latencies and the kinematic profiles of reach to grasp trajectories, specifically when intending to communicate or cooperate with the partner, it is not clear yet whether the social context modulates only those actions that are relevant in the current social situation (reaching, manipulating and displacing objects) or whether the social context modulates all actions that are performed even when they are irrelevant according to the current social and communicative situation.

In the present study, we questioned the specific effect of social intention on movement kinematics for the main manipulative action but also for the preparatory action that was included in the procedure, to initiate each experimental trial. As such, we will be able to discuss whether the social intention induces a general state upon the social behavior or whether social intention has a more specific effect on the action that is carried out towards the target object. To test this hypothesis, participants were asked to reach and grasp as fast as possible an object and to move it to another location. Before performing this main action, participants were required to position the object on an initial pad. In contrast with the main action, this preparatory action was performed without any temporal constraint or direct social interaction. The effects of social context on the kinematic parameters of both the main and the preparatory actions were analyzed both when the actions were performed in absence and in

the presence of another person, who could intervene on the target object or not depending on his relative position around the workspace and on task instructions.

Materials and methods

Participants

Twenty-one healthy adults took part in the experiment (mean age = 22.7, SD = 4.8). All participants were right-handed, with a mean laterality coefficient of 0.88 (Edinburgh Handedness Inventory, Oldfield, 1971) and had no prior knowledge about the scientific aim of the study. Participants provided informed consent before participating in the experiment. The experimenter, a 23-year-old man, played the role of the social partner in all the social conditions requiring a second participant. The protocol followed the general ethics rules defined by the Helsinki guidelines for human experiments and was approved by the local institutional ethic committee.

Apparatus and stimuli

Participants sat in front of a table (180 x 90 cm) on which red landmarks (3 cm x 3 cm) symbolized three specific locations that will be referred to in the next section as the initial position, the central position and the end position (see Figure 1). In addition, two target-locations were placed on either side of the table, and were used to indicate the starting hand position for both the participant and the experimenter. The object that was to be manipulated was a wooden dowel (width 2 cm and height 4 cm), which was placed on the initial position at the beginning of each trial. In order to prevent any influence of verbal instruction, all trials were triggered through the emission of auditory tones broadcasted by computer speakers.

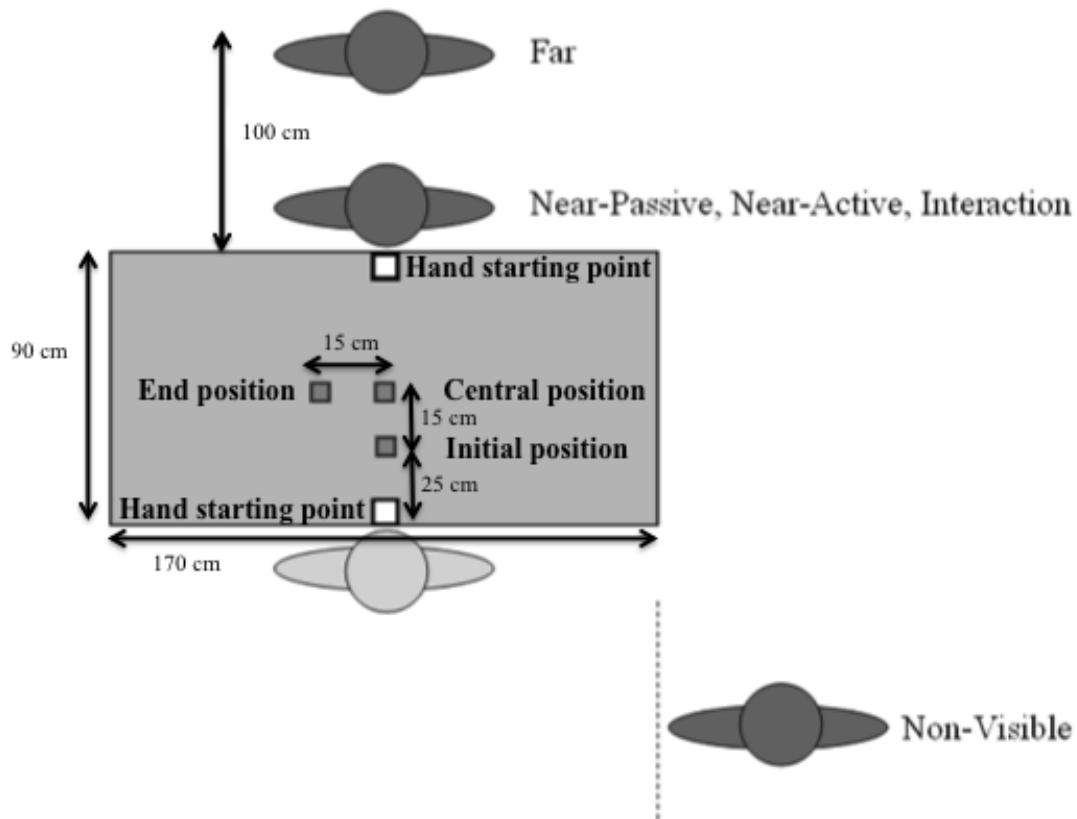


Figure 1. Experimental setup showing the ‘initial’, ‘central’ and ‘end’ positions as well as the respective distances. The position of the participant (light grey) and the partner (dark grey) within the different experimental conditions (absent, near, far) are illustrated. The white squares indicate the starting hand positions for both the participant (bottom) and the experimenter (top).

Procedure

During the experimental session, both the participant and the experimenter were seated on either side of the table, facing each other. The participants' task was to reach and grasp the dowel between the thumb and the index finger in order to move it from one position to the other. Each trial started with the object placed at the initial position and with participants pinching their index finger and thumb together, with the fingertips set upon the starting hand position. A trial was defined as a series of three successive action sequences: *Preparatory*

Action, which consisted in displacing the dowel from the initial to the central position (no temporal constraints), the *Main Action* which consisted in displacing as fast as possible the dowel from the central to the end position, and the *Repositioning Action* which consisted in displacing the dowel from the central to the initial position (no temporal constraints), making the setup ready for the next trial. Time pressure was set on the *Main Action* only and for this movement, the speed of the participants' wrist was required to be superior to 80% of maximal speed (previously registered, see below). Each move was triggered by a different broadcast tone, which was always played in the same order (tone 1 initiated the *Preparatory Action*; tone 2 initiated the *Main Action*; tone 3 initiated the *Repositioning Action*). In order to prevent participants from anticipating the time of movement initiation, the time intervals between tones were randomized and lasted unpredictably between 1 and 3 seconds.

Tone 2, which initiated the *Main Action*, could be one of two pitches (low or high). When tone 2 was high-pitched, participants were to perform the *Main Action* as quickly and as accurately as possible. When it was a low-pitch tone, participants were required to refrain from moving and the experimenter was to pick the dowel up from the central position and to place it on the end position as quickly and as accurately as possible.

Practice sessions

All participants underwent two practice blocks before the experimental session started. A first practice block was performed to obtain an estimation of the maximum speed at which each participant could grasp the wooden dowel from the central position and place it on the end position. We used an adjustment procedure, which consisted in modifying the threshold (maximum speed) according to each participant's performance level. If they were faster than

the threshold computed on the last trial, the threshold was increased and reciprocally, if they were slower, it was decreased (by 50 mm.s^{-1} at the beginning of the adaptation phase and then, progressively by a smaller change until reaching a 5 mm.s^{-1} modulation, at the end of the adaptation phase). The practice block ended when the threshold did not increase or decrease more than three times during the five last consecutive trials, indicating that the threshold was near to the participants' maximum speed. The mean value of the six last measurements was then taken as the individual's speed reference for the *Main Action* in the experimental session. A second practice block (16 trials) was performed in interaction with the experimenter in order to assess whether the instructions were understood by the participants, that the different tones were clearly identified and that the appropriate motor responses were provided.

Experimental conditions

In order to test the contrasting effects of the four different social contexts that were targeted in this study, we designed five experimental conditions in which the experimenter was placed in different places around the table with respect to the participant (see Figure 1). Participants took part in all five conditions following a randomized block design.

Absent. The experimenter was not visible while participants performed the pick and place task. Tone 2 was always a high-pitch sound and thus, all *Main Actions* were performed by the participant.

Far. The experimenter was seated on a chair, facing the participants, at a distance of 100 cm from the table. At the start of the block, the experimenter stretched out his right arm to show the participants that he could not reach the table center. Tone 2 was always a high-pitch sound and thus, all *Main Actions* were performed by the participant.

Near-Passive. The experimenter was seated at the table, facing the participant. At the start of the block, the experimenter stretched out his right limb to show the participants that he could reach the table centre, though he stayed totally immobile throughout the entire experimental session. Tone 2 was always a high-pitch sound and all *Main Actions* were performed by the participant.

Near-Active. The experimenter was seated at the table, facing the participant. At the start of the block, the experimenter stretched out his right arm to show the participants that he could reach the table centre. Tone 2 was always a low-pitch sound and thus, all *Main Actions* were performed by the experimenter.

Interaction. The experimenter was seated at the table, facing the participant. At the start of the block, the experimenter stretched out his right limb to show the participants that he could reach the table centre. Tone 2 was a high-pitch sound in 70% of the *Action* trials and was a low-pitch sound in the remaining 30%. Thus, the *Main Actions* were performed by the participant in 70% of the trials.

A given condition ended when a score of 20 points was achieved. Each point was obtained when a correct *Main Action* was performed, i.e. when the motor performance satisfied the temporal, spatial and social constraints.

Data recording and analysis

The participants' movements were recorded using 4 Oqus infrared cameras (Qualisys system). Kinematics of reach-to-grasp and transport movements were measured by recording the 3D displacement of the 5 infrared reflective markers that were placed on the index (base and tip), the thumb (tip) and the wrist (scaphoid and pisiform) of the participant. One additional marker was placed on the dowel. Cameras were calibrated before each session,

allowing the system to reach standard deviation accuracies smaller than 0.2mm, at a 200 Hz sampling rate.

From these measures, tangential 3D instantaneous velocity profiles were calculated. All movements (*Preparatory Action*, *Main Action*, *Repositioning Action*) were characterized by two bell-shaped profiles. The first bell-shape curve corresponded systematically to the movement of reaching to pick the target object, which will be referred to in the following as the first movement of the sequence. The second bell-shape curve corresponded to the movement of lifting to place the target-object, which will be referred to in the following as the second movement of the sequence. For both movements, kinematic parameters of the arm and of the grip components were measured. As classically used in previous studies, reaction time, trajectory amplitude and early kinematic parameters (amplitude and time to peak of acceleration and velocity phases) were here used because they inform on the motor planning properties, whereas movement time and trajectory smoothness (as revealed by jerk analysis) inform on the guiding strategies that are used to displace the hand through action space. These parameters have been pointed out to be relevant indicators for human observers that were required to extract meaningful interaction-cues when viewing point-light displays (e.g., Pollick, Paterson, Bruderlin & Sanford, 2001; Cook, Saygin, Swain & Blakemore, 2009). Definitions and codings of the parameters that we selected in the present study are proposed in Table 1.

Table 1. Definition of the different kinematic parameters considered in the study.

NAME	CODE	UNIT	DEFINITION
Reaction time	RT	ms	Time duration between tone onset and first moment in time for which velocity of wrist marker was greater than threshold of 20 mm.s ⁻¹
Movement time of Mvt ₁	MT ₁	ms	Time duration of the first element of the sequence, equals to the moment in time for which the local minima between the two “bells” occurs minus the reaction time.
Amplitude of peak velocity of Mvt ₁	APV ₁	mm.s ⁻¹	Amplitude of the first peak of velocity (first zero crossing of acceleration)
Time To Peak Velocity	TPV ₁	ms	Moment in time for which the first peak of velocity occurs minus the reaction time
Amplitude of peak acceleration of Mvt ₁	APA ₁	mm.s ⁻²	Amplitude of the maxima of the first derivate of velocity between the start of movement and the peak of velocity.
Mean jerk during acceleration phase of Mvt ₁	Jerk ₁	mm.s ⁻³	Mean of absolute values of jerk : second derivate of velocity between the start of the movement and the peak of velocity.
Amplitude of peak height of Mvt ₁	APH ₁	mm	Amplitude of the first maximum value from Z-axis data during element 1.
Maximum grip aperture	MGA	mm	Amplitude of the maximum of the distance between index and thumb marker during element 1.
Time to maximum grip aperture	TGA	ms	Moment in time for which maximum grip aperture occurs.

MT₂, APV₂, TPV₂, APA₂, Jerk₂ and APH₂ are the same kinematic parameters as above but extracted from Mvt₂ (second bell-shape on velocity profiles for Action trials).

In the present study, we report the analyses that were conducted on the *Preparatory Action* and *Main Action* only. The *Repositioning Action* was not analyzed. For each participant and condition, the kinematic parameters were submitted to a repeated-measure ANOVA with the 5-level Condition as within factor. The alpha level of significance was set to 0.05. To further investigate the main effect of Condition, we used a posteriori contrasts (see details of matrix coefficients in Table 2). More specifically, we tested the effect of audience by opposing *Absent* against all other conditions (Ψ_1). We operationalized the effect of sharing reachable space by opposing *Far* against those conditions for which the experimenter was sitting at the table (Ψ_2). We tested the effect of social uncertainty by opposing *Interaction* against the conditions for which there was no ambiguity about who was required to perform the *Main Action* (Ψ_3). Finally, for the *Preparatory Action*, we tested the effect of social intention by opposing *Near-passive* and *Near-active* conditions (Ψ_4). As these four contrasts are orthogonal, they are independent and will provide the means to assess the explanatory power of each contrast for a given main effect.

Table 2. Presentation of the orthogonal post-hoc contrasts that were used to assess the social effects in the Preparatory Action (top) and the Main Action (bottom), respectively.

Preparatory Action						
Contrast	Non-visible	Far	Near-passive	Near-active	Interaction	$\sum Ca$
Ψ_1	+4	-1	-1	-1	-1	0
Ψ_2	0	+3	-1	-1	-1	0
Ψ_3	0	0	-1	-1	+2	0
Ψ_4	0	0	+1	-1	0	0
Main Action						
Contrast	Non-visible	Far	Near-passive	Near-active	Interaction	$\sum Ca$
Ψ_1	+3	-1	-1	0	-1	0
Ψ_2	0	+2	-1	0	-1	0
Ψ_3	0	0	+1	0	-1	0

Results

Preparatory Action

Concerning the *Preparatory Action* we observed a global effect of Condition on RT ($F(4,80)=21.458$, $p<.001$, $\eta^2_p=.52$) and TGA ($F(4,80)=6.548$, $p=.019$, $\eta^2_p=.14$). For the first movement of the sequence, the effects of Condition was also significant on MT_1 ($F(4,80)=3.257$, $p=.016$, $\eta^2_p=.14$), TPV_1 ($F(4,80)=3.103$, $p=.020$, $\eta^2_p=.13$), $Jerk_1$ ($F(4,80)=2.579$, $p=.044$, $\eta^2_p=.11$), APH_1 ($F(4,80)=3.317$, $p=.014$, $\eta^2_p=.14$). For the second movement of the sequence, the effect of Condition was significant on APH_2 ($F(4,80)=3.450$, $p=.012$, $\eta^2_p=.15$). No effects were found on end-point errors ($F(4,80)=1.41$, $p=.236$), indicating that the end-point accuracy was maintained constant throughout all experimental conditions and thus, did not provide an account for the effects observed on motor kinematics. These results indicate that the presence, the location and/or the interaction with the experimenter were taken into account during motor planning and modulated motor execution. To obtain more specifics about the effects that were impacting movement parameters, we conducted a series of post-hoc contrast analyses.

Effect of audience

No kinematic parameters were found to be significantly affected when comparing the Absent condition versus the three other conditions. RT was found to be only close to significance ($t=1.947$, $p=.065$) thus suggesting no audience effect on RT. In agreement with this, we observed an absence of Condition effect on all 16 kinematic parameters, confirming a weak audience effect on motor performances.

Effect of sharing reachable space

The results showed an effect of reachable space on RT when contrasting the conditions (Far) and (Near-passive, Near-active and Interaction). Participants performed the *Preparatory Action* with a longer RT ($t=3.78$, $p=.001$) in the Far condition. We also found that the increase of RT in all the Near conditions was the most significant for the Near-active ($M=410$ ms, $SD=55$ ms) and Interaction conditions ($M=360$ ms, $SD=55$ ms) as compared to the Far condition ($M=328$ ms, $SD=60$ ms). No differences were found between Far and Near-passive conditions ($M=320$ ms, $SD=46$ ms, $p=.979$), suggesting that the observed effects were supported by other more specific and independent variables (e.g., social interaction). No effect on MT or kinematic parameters was observed. Thus, we hypothesized that the global effect on kinematics reported above were not due to the near presence of the partner but rather due to the interactive process that take place during the other experimental conditions. To verify this hypothesis, we dissociated two different contrasting hypotheses within the three “Near” conditions. First, we tested the effect of social uncertainty by contrasting (Interaction) versus (Near-passive and Near-active) conditions considered together. Second, we tested the effect of social intention by contrasting the conditions (Near-passive) versus (Near-active).

Effect of social uncertainty

When contrasting (Interaction) versus (Near-passive and Near-active) conditions, the results showed an effect of social uncertainty on the kinematic parameters of the first movement of the sequence with shorter MT_1 ($t=2.756$, $p=.012$), shorter TPV_1 ($t=3.611$, $p=.002$), higher $Jerk_1$ ($t=2.735$, $p=0.128$) and shorter TGA ($t=2.427$, $p=.025$) in the interaction condition compared to the two other conditions considered together. Because all aspects of

the task were maintained identical (i.e., starting position, relative positions of participant and experimenter, object location and size, end-position and end-point accuracy) but the social context, the only variable that could account for these results was the uncertainty of whether the next movement would be performed by the participant or the experimenter. Moreover, in the *Preparatory Action* condition the audio stimulus was strictly the same regardless of the condition (near-active, near-passive and interaction). Thus, the effects reported could not be accounted for by a stimulus-response contingency effect but would be more related to the social situation per se.

Effect of social intention

When participants initiated the task under the Near-passive condition, results revealed a significant shorter RT ($t=10.823$, $p<.001$) and shorter TGA ($t=2.727$, $p=.013$) than when participants initiated the task under the Near-active condition. For the first movement, a shorter MT_1 ($t=2.918$, $p=.009$), a lower APH_1 ($t=2.424$, $p=.025$) was also observed along with a lower APH_2 ($t=2.510$, $p=.021$) for the second movement in the Near-passive compared to the Near-active conditions. These results indicate that even though the “motor” intention is the same, the “social” intention involved in the task is taken into account during the planning of the *Preparatory Action*, as reflected in the kinematic parameters of both the first and the second component of the action sequence.

Table 3. Mean values for the different kinematic parameters (with Standard Error in parentheses). Results are presented for each experimental condition for the Preparatory Action and for the Main Action, respectively.

	Preparatory Action				Main Action				
	Absent	Far	Near-Passive	Near-Active	Interaction	Absent	Far	Near-Passive	Interaction
RT	334(15)	328(13)	320(10)	410(12)	360(12)	210(6)	220(8)	226(6)	267(9)
Grasping									
TGA	331(10)	326(8)	331(9)	341(8)	325(10)	344(13)	350(14)	346(14)	329(14)
MGA	80.7(1.7)	80.5(2.1)	80.9(2.1)	81.2(1.9)	79.4(1.6)	94.4(3.3)	91.8(3.1)	92.7(3.1)	92.9(3.2)
Reaching									
APV1	710(22)	717(19)	711(23)	708(19)	721(27)	1503(56)	1498(50)	1504(54)	1579(61)
TPV1	227(7)	229(6)	229(5)	237(6)	226(7)	235(8)	236(8)	236(8)	223(9)
MT1	423(13)	421(11)	422(12)	438(12)	417(11)	447(12)	450(14)	445(14)	431(15)
APA1	5608(305)	5480(342)	5662(321)	5637(296)	5970(386)	11171(853)	10836(743)	11207(879)	12511(1032)
JerK1	3206(178)	3169(155)	3159(158)	3042(152)	3322(203)	6507(453)	6382(396)	6497(450)	7235(517)
APH1	61.5(1.6)	59.8(1.6)	60.4(1.7)	62.8(1.5)	61.1(1.7)	68.4(2.1)	67.1(2.0)	67.1(2.1)	68.0(2.1)
Placing									
APV2	719(15)	725(14)	715(16)	702(17)	715(16)	765(22)	770(24)	757(24)	751(23)
TPV2	171(6)	174(5)	173(5)	173(6)	173(6)	127(6)	130(6)	126(5)	125(6)
MT2	499(14)	505(16)	498(15)	517(16)	509(18)	365(11)	363(10)	364(10)	357(11)
APA2	4132(229)	4169(198)	4086(210)	4059(184)	4144(209)	4391(317)	4507(282)	4165(266)	4016(266)
JerK2	2343(117)	2373(106)	2282(106)	2293(98)	2357(114)	2597(188)	2626(166)	2442(163)	2339(166)
APH2	67.7(2.2)	66.6(2.2)	67.4(2.1)	72.6(2.5)	68.3(2.6)	74.3(2.6)	70.9(1.7)	72.4(2.1)	73.4(2.2)

Main Action

When considering the *Main Action*, the statistical analyses revealed a global effect of Condition on RT ($F(3,60)=33.806$, $p<.001$, $\eta^2_p=.63$) and TGA ($F(3,60)=6.548$, $p<.001$, $\eta^2_p=.25$) as well as on 5 other kinematic parameters characterizing the first movement of the sequence, i.e., APV₁ ($F(3,60)=7.814$, $p<.001$, $\eta^2_p=.28$), TPV₁ ($F(3,60)=8.690$, $p<.001$, $\eta^2_p=.30$), MT₁ ($F(3,60)=3.827$, $p=.014$, $\eta^2_p=.16$), APA₁ ($F(3,60)=9.076$, $p<.001$, $\eta^2_p=.31$), and Jerk₁ ($F(3,60)=11.397$, $p<.001$, $\eta^2_p=.36$). For the second movement of the sequence, results revealed an effect of Condition on APA₂ ($F(3,60)=3.326$, $p=.026$, $\eta^2_p=.14$) and Jerk₂ ($F(3,60)=3.816$, $p=.014$, $\eta^2_p=.16$) only. No effects of Condition were revealed on any of the other kinematic parameters, MGA or end-point errors.

Because all aspects of the task were maintained identical throughout all conditions (i.e., starting position, relative positions of participant and experimenter, object location and size, end-position and end-point accuracy) except for the social context, these findings strongly suggest a global planning of the motor sequences during which the social context is taken into account, with as a consequence the modulation of the kinematic properties of both movements of the action sequence. To gather more information about the specific effects and the role played by the social context on these effects, we conducted a series of post-hoc contrast analyses according to the three hypotheses mentioned above.

Effect of audience

When comparing Absent versus the three others conditions, we found an effect of audience on RT ($t=6.01$, $p<.001$). Participants initiated movements faster in the Absent condition ($M=210$ ms, $SD=25$ ms) compared to the Far ($M=220$ ms, $SD=35$ ms), Near-

passive (M=226 ms, SD=27 ms) and Interaction (M=267 ms, SD=42 ms) conditions. The audience effect did not have a significant effect on any other of the kinematic parameters. Overall these findings suggest that, as for the *Preparatory Action*, when taken independently from the other effects (space, uncertainty), the mere presence of a partner had little effect on motor performance.

Effect of sharing reachable space

When contrasting the conditions (Far) versus (Near-passive and Interaction), statistical analyses revealed that APA_2 ($t=2.48$, $p=.022$) and $Jerk_2$ ($t=2.40$, $p=.026$) were greater when the partner was far from the participants than when he was near (APA_2 : M=4507 mm.s⁻², SD=1290 mm.s⁻²; $Jerk_2$: M=2626 mm.s⁻³, SD=760 mm.s⁻³). Indeed, both passive (APA_2 : M=4165 mm.s⁻², SD=1220 mm.s⁻²; $Jerk_2$: M=2442 mm.s⁻³, SD=748 mm.s⁻³) and interaction conditions (APA_2 : M=4016 mm.s⁻², SD=1220 mm.s⁻²; $Jerk_2$: M=2339 mm.s⁻³, SD=761 mm.s⁻³) showed small APA_2 and low $Jerk_2$, indicating a more fluent transport phase during the sequential action when performed within the partner reachable space.

Effect of social uncertainty

When contrasting the conditions (Interaction) versus (Near-passive), participants were characterized by longer RT (M= 267 ms, SD=42 ms vs M=226 ms, SD=27 ms, $t=5.44$, $p<.001$) and shorter TGA (M=329 ms, SD=65 ms vs M=346 ms, SD=65 ms, $t=-4.96$, $p<.001$). Data analyses also revealed higher APV_1 (M=1578 mm.s⁻¹, SD=280 mm.s⁻¹ vs M=1504 mm.s⁻¹, SD=246 mm.s⁻¹, $t=4.13$, $p<.001$), shorter MT_1 (M=431 ms, SD=67 ms vs M=445 ms, SD=63 ms, $t=3.39$, $p=.003$), shorter TPV_1 (M=223 ms, SD=40 ms vs M=236 ms, SD=38 ms,

$t=5.11$, $p<.001$), higher APA_1 ($M=12511 \text{ mm.s}^{-2}$, $SD=4728 \text{ mm.s}^{-2}$ vs $M=11207 \text{ mm.s}^{-2}$, $SD=4028 \text{ mm.s}^{-2}$, $t=4.53$, $p<.001$), and higher $Jerk_1$ ($M=7235 \text{ mm.s}^{-3}$, $SD=2367 \text{ mm.s}^{-3}$ vs $M=6497 \text{ mm.s}^{-3}$, $SD=2064 \text{ mm.s}^{-3}$, $t=5.08$, $p<.001$) in the Interaction condition compared to that observed in the Near-passive condition. Furthermore, data analysis testing for the effects of Condition on MT_2 was close to significant ($t=2.00$, $p=.059$) with a tendency for shorter MT_2 ($M=357 \text{ ms}$, $SD=50 \text{ ms}$ vs $M=365 \text{ ms}$, $SD=48 \text{ ms}$) in the interaction condition compared to that measured in the Near-passive condition. These results suggest a global effect of social uncertainty with longer reaction times and faster and less fluent action execution when acting under the uncertainty that the partner may perform the main action (in 30% of trials). However, these effects were mainly observed on the first movement with little effects on the second.

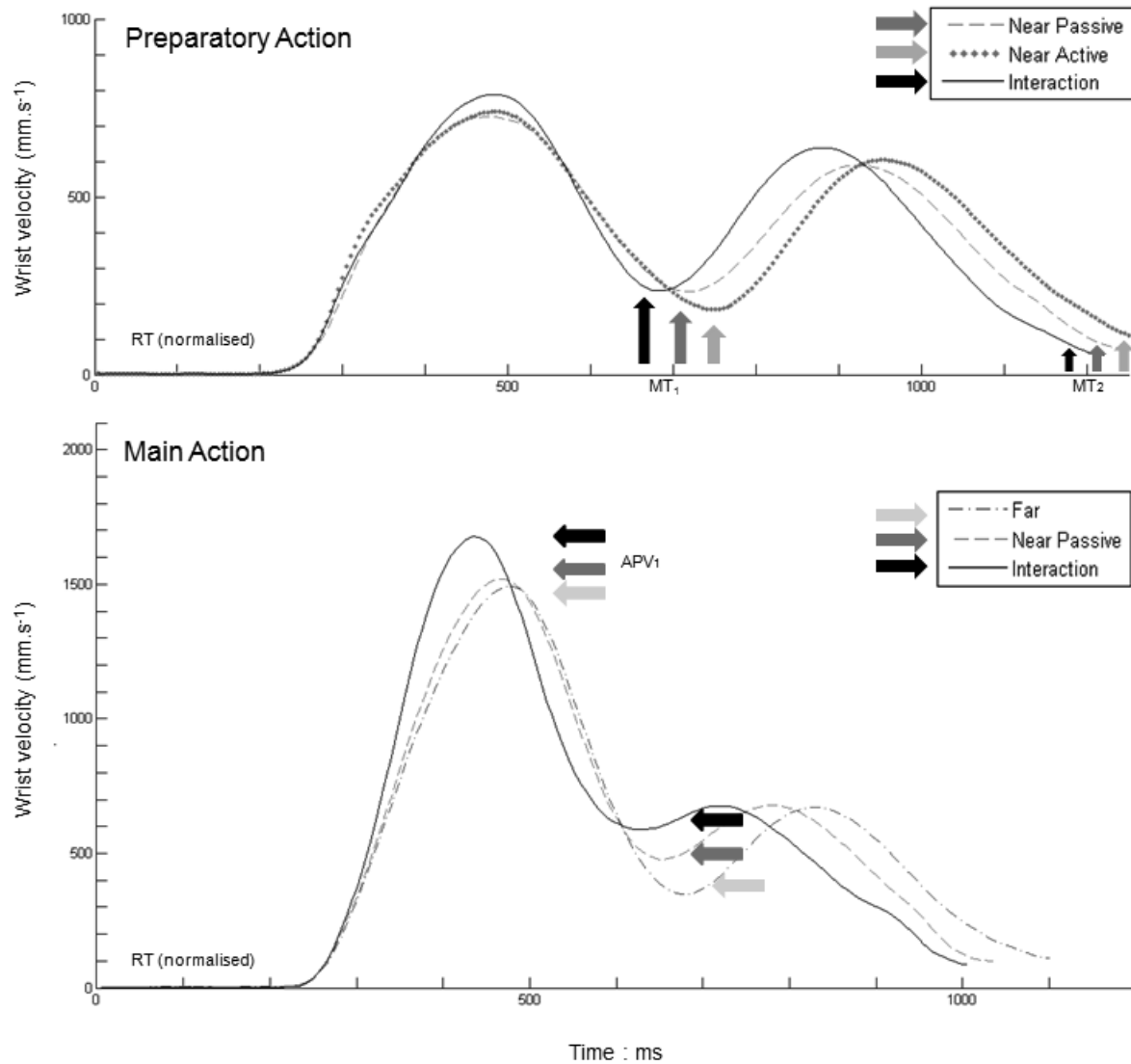


Figure 2. Mean kinematic patterns for a typical participant in the different experimental conditions. All patterns are synchronized to the initiation time. On the preparatory action (top), we observed both an effect of social uncertainty (Near Passive and Near Active vs Interaction) and an effect of social intention (Near Passive vs Near Active) on the first movement time. On the Main Action (bottom), results showed that accelerative part of the second movement is modified when acting in the partner reachable space (Far vs Near Passive and Interaction). Moreover, social uncertainty (Near Passive vs Interaction) affects strongly the first movement time and the first peak of velocity.

Discussion

The aim of the present study was to evaluate the influence of reachable space, social uncertainty and social intention on movement kinematics characterizing a sequential manipulative action that consisted in placing a dowel (preparatory action) before performing a temporally constrained task (main action) that required participants to move as fast as possible the dowel from one location to another. The analyses of the kinematic patterns of both the preparatory (executed under no constraints) and the main action (executed under speeded constraints) revealed an absence of influence of the mere presence of a partner, i.e., the audience effect was negligible. However, there was a significant effect of the social context with variations of movement kinematics of the main action but also of the preparatory action when the partner was located close enough to the table to be able to intervene on the object. Overall, our data suggest a specific effect of the social risk of “sharing reachable space”. In the following sections, we will quickly review the reported results and propose a discussion on the importance of these findings for the field of neuro-robotics.

Using a rather simple reach to grasp task, we manipulated the effect of audience, the effect of sharing reachable space, the effect of social uncertainty and the effect of social intention. First, although it is well established that the mere presence of a partner can affect participants’ behavior (Zajonc, 1965), results showed that the presence of a potential partner was not sufficient to affect the kinematics of the grasping and placing phase of a manipulative task (*Main Action*). These results are in agreement with earlier studies, which reported that movement kinematics is affected by the presence of another person only when an interaction between the two agents can occur (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008a; Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008b; Georgiou, Becchio, Glover & Castiello, 2007). In

contrast, we observed that the presence of a partner sharing the participants' reachable space had a significant effect on the properties of movement kinematics with longer reaction times and lower acceleration peaks, which rendered the arm trajectories less jerky (more fluent). These findings suggest that the presence of a partner sharing reachable space lead the actor to slow down the motor planning process in order to enhance movement guiding strategies, resulting thus in a more fluent transport phase of the sequential action. To note is the fact that these patterns of results were observed essentially for the second element of the main action (i.e., the transport phase). At first, it may be thought that these results suggest that kinematic modulations were associated to the space variability of the object that is placed on the table. However, through the use of real-time control for small error acceptance, we controlled for this factor: the kinematic variations could not be due to the end-point accuracy constraints and may in fact directly be related to the experimental conditions. In agreement with previous work (Gianelli, Scorolli & Borghi, 2013), these findings indicate that grasping an object to transport it to a new location is affected by whether this object is located in someone else's reachable space, notwithstanding the fact that the aim to interact is made explicit or not. Hence, the fact that movements were smoother and performed with lower acceleration profiles when executed in other's reachable space suggests that grasping actions are influenced by the possibility of experiencing a social interaction.

The main finding of the present study is however the fact that social context influenced not only the kinematics of the main action but also the kinematics of the preparatory action for which no instructions were given for temporal, spatial or social constraints and despite the fact that this movement was entirely performed out of the reachable space of the partner. Overall, we report in the present study similar effects of social uncertainty in both the *Preparatory Action* and the *Main Action*, showing that the interaction

condition not only influenced the grasping task performed as fast as possible (in order to be rewarded by points), but also the preparatory sequence of this action, which was performed always by the participant. Social uncertainty led participants to perform faster preparatory actions, resulting in earlier time to peak velocity and grasp aperture as well as increased jerk. These results indicate that participants felt an urge to perform the preparatory action with shorter response times when the experimental condition generated ambiguity about who will then act. Indeed, in the interaction condition, during the preparatory actions, participants did not know who was going to perform the main action since the sound indicating the agent was given after the preparatory action had been executed. Hence, social uncertainty led participants to adopt a general competitive behavior, which has been previously described in paradigms that are however usually designed specifically to encourage direct competition (Georgiou, Becchio, Glover & Castiello, 2007). Effect of the social context on movement kinematics was also observed during actions for which the object was placed in totally predictive contexts: data showed that participants tended to have longer reaction times and movement times, and performed more curved trajectories (e.g., higher wrist displacement, APH) when they positioned the object for a forthcoming social action performed by a partner in 100% of the trials (Near passive condition) rather than individually (Near active condition). Variations in movement kinematics are then observed when participants place the object knowing that the partner is going to grasp it and when they place the object knowing that they will personally have to grasp it. Slower actions and higher wrist trajectories may have been implemented to attract the partner's attention and give the person time to prepare the interactive response (Sartori, Becchio, Bara & Castiello, 2009). Interestingly, this pattern of results was obtained even if the motor intention was identical throughout, i.e., an identical target and a similar motor task. It confirms the influence of social intention on movement

kinematics, as already reported by Becchio, Sartori, Bulgheroni and Castiello (2008a), and further demonstrates the effect of social intention on motor behaviors as a global effect that affects both the early and the late execution of a motor sequence, including both a preparatory and main action.

Our results reinforce the importance in computational models of motor control to take into account the contextual constraints such as reachable space, environment predictability and social intentions. Current models of motor control (for a review, see Todorov, 2004) are based on optimized function costs that are often named minimum-X (jerk, torque change, energy, time, variance, etc). The present results further demonstrate that such optimized function cannot account for the specific effects that we have reported both for the main and the preparatory actions. Here, we confirm that interacting with a partner encompass different processes that may be independent from each other. First, the effect of reachable space was found to be a “localized” effect on kinematics only revealed when the movement was directly made within the reachable space of the conspecific. The observed consequence is that the accelerations (APA_2 - $jerk_2$) were reduced giving rise to smoother movements. This could be a consequence of years of learning that when acting within the reachable space of someone else, the agent must have smoother movements in order to not frighten the partner away, smoother and slower profiles being perceived as more gentle and socially engaging actions. This specific learning could be shaped during the early developmental years when young children are interacting with their parents, individuals who are there to teach how to “be gentle” during social interactions (Gaussier, Moga, Quoy & Banquet, 1998 ; Hasnain, Gaussier & Mostafaoui, 2012). Second, the effect of social uncertainty is found to be a “global” effect on kinematics, neither localized to a specific part of the sequence, nor at a specific spatial location between the participant and the partner. We found that when the agent cannot entirely

predict who will perform the next Main Action, (s)he was performing voluntary actions as if they were in a competitive interaction and thus, modulated both the first and the second components of the motor sequence resulting in less smooth movements (higher accelerations; higher jerk). More experiments are now needed to better understand how the perception of a competition situation in relation to the social context may influence the kinematics of voluntary motor actions. Third, we revealed an effect of social intentions independently from the previous effects. In our case, the preparatory action showed specific patterns of movement curvature with higher wrist displacements and slower movements when participants placed the object to be grasped by the partner compared to the situation for which the object was placed for self-use. Because this situation led to a less “optimized” motor performance, one may speculate that this strategy would be employed as an external signal during social interaction to show the agent’s social intention to share the object (Sartori, Becchio, Bara & Castiello, 2009). Previous studies have supported this interpretation by showing that humans are sensitive to external kinematic characteristics of a movement, and especially trajectory height (Sartori et al., 2011; Manera et al., 2011; Lewkowicz et al., *in press*). The new findings reported here suggest that even the preparatory actions reflect the agent’s social intention and thus, movement properties may be *read* by perceivers for whom understanding motor intention from early kinematics is important. This is at least one of the key elements lacking today in humanoid robot systems because they are not implemented at the moment with the appropriate embedded perceptual system that can take advantage of these early motor information.

In conclusion, the present study provides the first report of a social effect on kinematics of a non-constraint action. To summarize, we found that the mere presence of a conspecific did not influence the preparatory action, even when sharing reachable space with

that of the actor, but an overall effect was observed when the task involved social uncertainty and social intention. This result is important as it shows that social uncertainty and intentionality influence kinematics very early on during motor planning, and may thus represent a highly informative signal in the case of cooperative and competitive social situations (see also Manera et al., 2011). These empirical results can have significant impact in the field of neuro-robotics as they suggest that acting in a social interactive environment leads to a certain number of parameters that impact movement kinematics directly: reachable space, uncertainty and social intention. These effects may constitute what humans perceive as a “social interactive” situation, effects that need to be taken into account to create robots with what is called today as intuitive interactivity. Future studies need now to consider how to implement these social aspects of motor control within an artificial system in order to afford intention reading during human-robot collaborative work. More specifically, the questions of low/high-level kinematics and explicit/implicit learning will be the key to implement intuitive social interactive capacities in future humanoid robots.

Avant-propos :

Étude 2 - Effet de la hauteur des yeux du partenaire sur les déformations cinématiques des actions motrices volontaires.

L'étude 1 a permis la mise en évidence d'un effet du type d'intention sociale poursuivie sur la cinématique d'actions motrices volontaires. Précisément, lorsqu'une action est réalisée avec l'intention de profiter à un congénère, on observe une augmentation du temps d'initiation ainsi que de la durée d'exécution de celle-ci et une amplification des trajectoires sur le plan vertical. Nous avons interprété l'occurrence de ces déformations cinématiques typiques comme pouvant assurer une fonction communicative implicite lors d'interactions sociales. Précisément, l'exagération des paramètres spatio-temporels des actions motrices volontaires pourrait permettre d'attirer l'attention du partenaire et ainsi optimiser les comportements de coopération. Par ailleurs, étant donné le caractère crucial du regard d'autrui lors d'interactions sociales, nous postulons que les déformations de trajectoire sur le plan vertical sont la résultante de la prise en compte par les participants de deux cibles d'intérêt : le totem à déplacer et les yeux du partenaire. L'étude 2 s'attache à éprouver cette hypothèse. Pour cela, les participants étaient à nouveau invités à prendre part au même dispositif expérimental que dans l'étude 1 mais en présence d'un partenaire dont la hauteur des yeux était cette fois manipulée. L'étude se déroulait sur deux jours et, grâce à l'utilisation d'un siège ajustable, les participants pouvaient être amenés à interagir, avec un partenaire assis à la même hauteur qu'eux ou avec un partenaire assis plus haut qu'eux de cinq centimètres. Si, comme nous le postulons, les déformations cinématiques observées sur le plan vertical sont la conséquence d'une intégration de la position des yeux du partenaire, nous devrions alors observer une relation entre l'intensité de ces exagérations de trajectoires et la hauteur des yeux du partenaire.

Etude 2:

For your eyes only: Effect of confederate's eye level on reach-to-grasp action

Abstract

Previous studies have shown that the spatio-temporal parameters of reach-to-grasp movement are influenced by the social context in which the motor action is performed. In particular, when interacting with a confederate, movements are slower, with longer initiation times and more ample trajectories, which has been interpreted as implicit communicative information emerging through voluntary movement to catch the partner's attention and optimize cooperation (Quesque et al., 2013). Because gaze is a crucial component of social interactions, the present study evaluated the role of a confederate's eye level on the social modulation of trajectory curvature. An actor and a partner facing each other took part in a cooperative task consisting, for one of them, of grasping and moving a wooden dowel under time constraints. Before this *Main action*, the actor performed a *Preparatory action*, which consisted of placing the wooden dowel on a central marking. The partner's eye level was unnoticeably varied using an adjustable seat that matched or was higher than the actor's seat. Our data confirmed the previous effects of social intention on motor responses. Furthermore, we observed an effect of the partner's eye level on the *Preparatory action*, leading the actors

to exaggerate unconsciously the trajectory curvature in relation to their partner's eye level. No interaction was found between the actor's social intention and their partner's eye level. These results suggest that other bodies are implicitly taken into account when a reach-to-grasp movement is produced in a social context.

Introduction

Humans live in social groups and spend much time engaging in cooperative actions (Richerson & Boyd, 1998) or interpreting observed behaviors (Barresi & Moore, 1996), even when there is no clear intention to interact with conspecifics (Frith & Frith, 2006). Motor actions have the special feature of being influenced by both the goal pursued (Ansuini, Giosa, Turella, Altoe & Castiello, 2008; Ansuini, Santello, Massaccesi & Castiello, 2006; Marteniuk, Mackenzie, Jeannerod, Athenes & Dugas, 1987; Naish, Reader, Houston-Price, Bremner & Holmes, 2013) and the social context in which they are performed (Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli, & Gentilucci, 2011a; Gianelli, Scorolli, & Borghi, 2011; Innocenti, De Stefani, Bernardi, Campione, & Gentilucci, 2012; Quesque, Lewkowicz, Delevoye-Turrell, & Coello, 2013; Scorolli, Miatton, Wheaton & Borghi, 2014). As a consequence, observers can detect, from kinematic variations in motor performances, the goal of an ongoing action before it is entirely executed (Elsner, Falck-Ytter, & Gredebäck, 2012; Lewkowicz, Delevoye-Turrell, Bailly, Andry, & Gaussier, 2013; Orliaguet, Kandel & Boë, 1997; Stapel, Hunnius, & Bekkering, 2012) and even the actor's social intention (Manera, Becchio, Cavallo, Sartori & Castiello, 2011; Sartori, Becchio & Castiello, 2011; Sebanz & Shiffrar, 2009). For instance, Manera et al. (2011) showed that observers could readily categorize from movement information whether an object was grasped to perform an individual action or with the intention of socially cooperating. In line with this specific sensitivity to social cues borne by action, recent neuroimaging studies highlighted the capacity of the brain to discriminate very rapidly from the optic flow information relating to human bodies (see de Gelder et al., 2010 for a review) and bodily expressions (see Blake & Shiffrar, 2007 for a review). It has been suggested that the implicit process of socially relevant motor features could optimize

cooperation between agents and contribute to the selection of adapted responses depending on the social demands (Gallagher, 2008).

The role of sensorimotor cues in social interactions is a particular aspect of human communication that originates from the very early motor experiences that infants share with their parents (Brand, Baldwin & Ashburn, 2002; Brand & Shallcross, 2008). The so-called “motionese” strategy reflects the fact that parents exaggerate their movements when addressing their children. Although less accentuated in later life, this effect does not seem restricted to childhood since changes in kinematics have also been observed when communication occurs between adults in pointing (Cleret de Langavant et al., 2011) and grasping tasks (Sartori, Becchio, Bara & Castiello, 2009). In the latter experiment, participants were asked to reach, grasp, and lift colored spheres for an individual or cooperative purpose requiring an observer to decode a message from the alternation of colors via a simplified Morse code. Although the goal of the motor action was identical in the two conditions for the actor, the reach-to-grasp movements were performed differently when there was a social communication constraint. More precisely, the reaching movements were slower with less straight trajectories in the communicative than in the non-communicative condition. Thus, it appears that when endorsing social intention – that is, when other actors are crucial elements for satisfying the intended goals (Ciaramidaro et al., 2007) – humans tend to modify the kinematics of their motor behaviors, even when there is no explicit instruction to communicate. In agreement with this, when actors move an object to allow a partner (rather than themselves) to perform a goal-directed action, they move and place the object using a more curved trajectory (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008; Quesque et al., 2013) and a longer movement initiation time (Quesque et al., 2013). Such an increase in movement amplitude has been interpreted as an implicit strategy to catch the partner’s

attention and communicate social intention (Quesque et al., 2013); the movements being performed with a higher amplitude due to the partner's eye level representing a social target that influences the implementation of goal-directed action.

Supporting the assumption of an influence of eye level on cooperative tasks, several studies have pointed out the predominant role of gaze in human social interactions (Argyle & Cook, 1976; Becchio, Bertone & Castiello, 2008; Kleinke, 1986; Langton, Watt, & Bruce, 2000) from the early days of life (Farroni, Csibra, Simion & Johnson, 2002). In comparison with other primate species, humans have especially visible eyes (Kobayashi & Kohshima, 1997) which renders their gaze direction much more salient, thus facilitating cooperative behaviors and joint actions. In studying how social context affects movement kinematics, recent research has led to the conclusion that the appropriate direction of a partner's gaze is a prerequisite to effective social interactions (Ferri et al., 2011a; Innocenti et al., 2012; Scorolli et al., 2014).

In this context, the present study aimed to evaluate the effect of a partner's eye level on the execution of individual or cooperative voluntary reach-to-grasp movements. If hand elevation when performing an action in a social context is influenced by the height of a partner's eye, as suggested by previous studies, hand trajectories would be expected to be higher when a motor action was performed in the presence of a partner taking a higher seated position. Furthermore, this study investigated whether the effect of eye level on the spatio-temporal parameters of motor responses depends on the communicative context, i.e. when a social intention is endorsed, or if it depends on a more implicit influence occurring even in the absence of any social interaction (e.g. Bateson, Nettle & Roberts, 2006; Ernest-Jones, Nettle, Bateson, 2011).

Material and Methods

Participants

Twenty-one healthy, right-handed (as determined by the Edinburgh Handedness Inventory, Oldfield, 1971) adults (mean age = 21.05 years, SD =1.96 years, 4 males) were tested. They had no prior knowledge about the scientific aim of the study and provided their written informed consent before participating. The protocol followed the general ethics rules defined by the local ethics committee and was in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki (World Medical Organization, 1996). The experimenter (the first author of this paper) was a 24-year-old man who played the role of the social partner for all participants.

Apparatus and stimuli

Participants and the partner sat on either side of a table (120 x 80 cm), facing each other. 2 cm x 2 cm black markings on the table indicated three specific locations, which will be hereinafter referred to as the initial, central and final positions. In addition, the starting positions used for the right hand of the participants and the partner were indicated by black markings located at each edge of the table. The object to be manipulated was a wooden dowel (diameter 2 cm, length 4 cm), which was to be moved from one spatial landmark to the next following a defined sequence, each movement in the sequence being triggered by an auditory cue (see Figure 1).

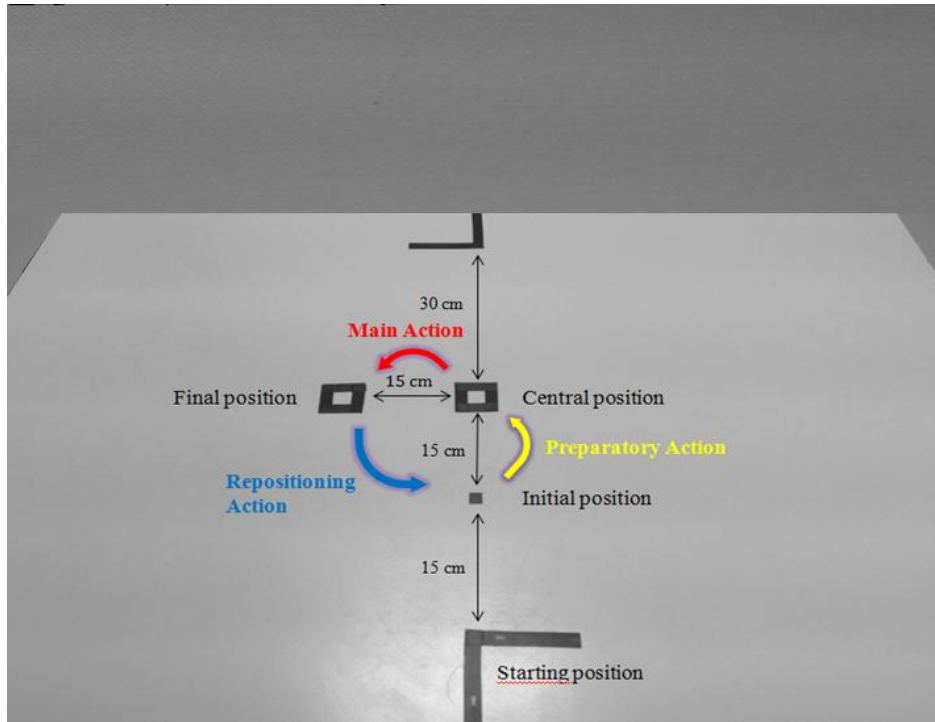


Figure 1. Top view picture of the experimental setup with the initial, central and final positions, the starting position of the participants, and an illustration of the Preparatory, Main and Repositioning actions.

Procedure

The task for the participants was to reach and grasp the wooden dowel using their thumb and index finger and move it from one position to the next in a sequence of three successive actions. Before performing each action, both the participants and the partner were requested to remain stationary with their thumb and index finger pinched together and resting upon the starting position. Each sequence started with the wooden dowel placed at the initial position. The first action was the *Preparatory action*, which consisted of moving the wooden dowel from the initial to the central position with no specific time constraints. The second action was the *Main action*, in which the wooden dowel was moved horizontally from the central to the final position as fast as possible. The third action was the *Repositioning action*, in which the wooden dowel was moved from the final to the initial position with no specific

time constraints, thus setting up for the next sequence. Time constraints were thus only applied to the *Main action*, in which the velocity of the participant's wrist had to be more than 80% of the maximum reachable velocity (computed from the peak velocity recorded in a previous practice session, see below and Quesque et al., 2013 for a detailed description). Each movement was triggered by a specific auditory cue, always broadcast in the same order (cue 1 initiated the *Preparatory action*; cue 2 the *Main action*; cue 3 the *Repositioning action*). Thus, participants and the partner had their right hand on the starting positions before initiating any of the movements in the sequence, while their left hand remained in their lap. When the participant or the partner was acting, the other person had to keep motionless. Furthermore, participants were not allowed to communicate and were asked to fix their gaze on the table during the course of the experiment in all sessions. In order to prevent participants from anticipating the time of movement initiation, between-sequences intervals varied randomly between 3 and 3.5 seconds. In addition, the interval between the 1st and 2nd auditory cue was varied randomly between 3.5 and 4 s while the interval between the 2nd and 3rd auditory cue was fixed at 2 s in order to provide feedback on the participant's performance immediately after they had completed the *Main action*.

Participants performed four successive sessions of 25 sequences of action. In these sessions, the *Main action* was carried out by either the participant or the partner (block trials), with the seat of the partner being either at the same height as or higher than that of the participant (block trials). The eye level of the partner was manipulated using an adjustable seat, which was either at the same height as that of the participant (0 cm condition) or 5 cm higher (5 cm condition, counterbalanced order). In order to minimize the risk that participants detected this manipulation, the two height conditions were performed on different days separated by one week and the height of the seat was adjusted before the arrival of the

participants. In each of these conditions, the participants and the partner performed the *Main action* in two block sessions presented in a counterbalanced order on the same day. Then, depending on the session, when performing the *Preparatory action*, participants could place the wooden dowel for themselves (personal intention) or for their partner (social intention).

Practice sessions

Before the experimental session started, all participants underwent two practice blocks, each containing 15 sequences of action. The first practice block was done to obtain an estimate of the maximum speed at which participants could grasp the wooden dowel from the central position and place it on the final position. An adjustment procedure similar to the one used in Quesque et al. (2013) was selected. The second practice block was done to check that instructions were understood and that the different cues were accurately identified and the appropriate motor responses provided.

Data recording and analysis

Participants' motor performances were recorded using Qualisys 4 Oqus infrared cameras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden). Infrared reflective markers were placed on the forefinger (base and tip), thumb (tip) and wrist (scaphoid) of the right hand of participants. An additional marker was placed on the wooden dowel. Cameras were calibrated before each session, enabling the system to reach standard deviation accuracies of less than 0.2 mm, at a 200 Hz sampling rate. Only the *Preparatory action* data were analyzed, because the social influence on motor performances can be estimated only from this action. The *Preparatory action* was characterized by a reaching phase (reach-to-grasp action) and a transport phase (moving the wooden dowel from the initial to the central position). The focus was on

movement parameters that are known to be affected by social intentionality, namely reaction time, movement time, peak wrist velocity, and height of the trajectory in the reaching and transport phases (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008; Quesque, Lewkowicz, Delevoye-Turrell, & Coello, 2013; Quesque, Delevoye-Turrell, & Coello, submitted). Reaction time, movement time and trajectory elevation were computed from the 3D coordinates of the reflective marker placed on the wrist of participants. Temporal and kinematic parameters of the (x,y,z) coordinates of the wrist marker were computed from tangential velocity profiles after filtering the data using a second-order Butterworth dual pass filter (cutoff frequency: 15 Hz). Movement onset was defined as when the first velocity value reached 20 mm.s^{-1} . Movement end was defined as the time the velocity profile reached the minimum value following the peak velocity of the transport phase. Reaction time corresponded to the time separating the *Preparatory action* auditory cue from movement onset. Movement time corresponded to the time separating movement onset from movement end. Peak wrist velocity corresponded to the maximum velocity reached by the wrist during the grasping and transport phase, respectively. The maximum height of trajectory was defined as the maximum z coordinate of the wrist measured in the grasping and transport phases.

Concerning reaction time, a 2 (Intention: Social vs. Personal) x 2 (Partner's eye level: 0 cm vs. 5 cm condition) ANOVA was conducted. Concerning movement time and kinematic parameter analysis, 2 (Intention: Social vs. Personal) x 2 (Partner's eye level: 0 cm vs. 5 cm condition) x 2 (Movement phase: Grasping vs. Transport) ANOVAs were conducted, all variables being associated with within-participants measures. The significance level was set at .05.

Results

Trials were excluded from the data analysis when a participant responded erroneously, when the marker was not correctly recorded during the movement, or when the reaction time was shorter than 200 ms or longer than 2.5 standard deviations from the median (Leys, Ley, Klein, Bernard, & Licata, 2013) computed from the *Preparatory actions*. 5.2% of the trials, homogenously distributed across the conditions, were thus excluded.

Reaction time

Reaction time was influenced by social intention ($F(1,20)=50.69$, $p<.001$, $\eta^2_p=.72$). Participants showed a longer reaction time when they placed the wooden dowel for the partner (564 ms) than for themselves (480 ms). However, no effect of partner's eye level on reaction time ($F(1,20)=0.62$, ns) was found, and there was no interaction between the two factors ($F(1,20)=0.99$, ns; see Figure 2).

Movement time

Movement time was influenced by social intention ($F(1,20)=5.49$, $p<.05$, $\eta^2_p=.22$), increasing when a social (480 ms) rather than a personal (468 ms) intention was endorsed. Furthermore, movement time increased in the transport phase (485 ms) compared to the grasping phase (463 ms, $F(1,20)=7.15$, $p<.05$, $\eta^2_p=.26$). However, no effect of partner's eye level on movement time ($F(1,20)=1.38$, ns) was found, and there was no interaction between the three factors (social intention/movement phase: $F(1,20)=2.5$, social intention/eye level: $F(1,20)=1.71$, movement phase/eye level: $F(1,20)=2.25$, social intention/movement phase/eye level: $F(1,20)=0.13$, all ns; see Figure 3).

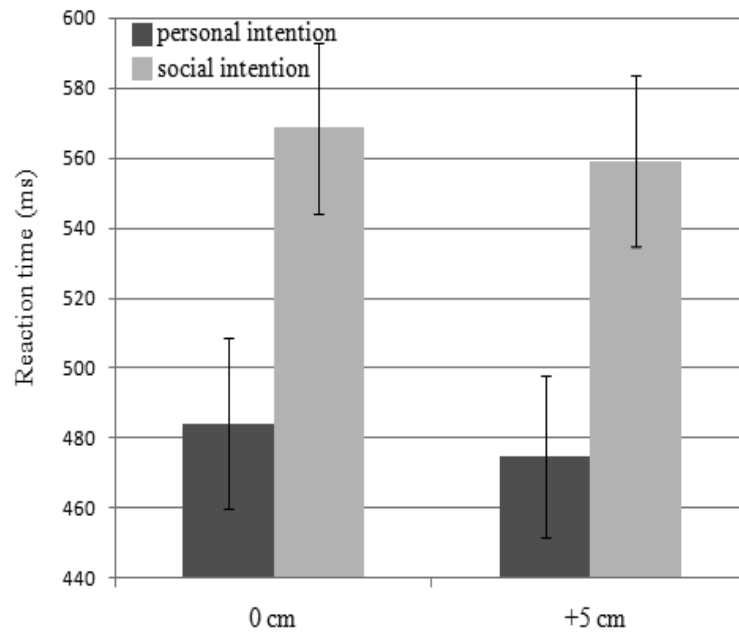


Figure 2. Reaction time as a function of social intention and partner's eye level. Error bars represent the standard error.

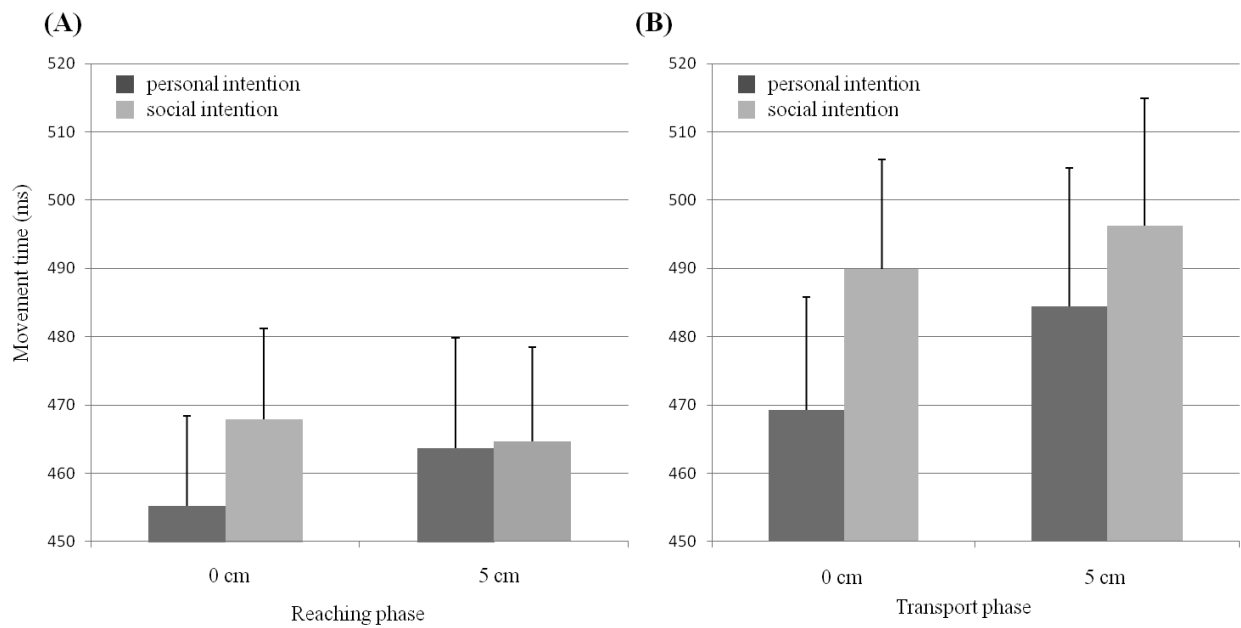


Figure 3. Movement duration as a function of social intention and partner's eye level for both (A) the reaching and (B) the transport phases of the Preparatory action. Error bars represent the standard error.

Wrist elevation

Wrist elevation was influenced by social intention ($F(1,20)=8.01$, $p<.01$, $\eta^2_p=.29$), with a higher trajectory when participants endorsed a social (62.3 mm) rather than a personal (60.7 mm) intention. Wrist elevation was also influenced by the movement phase ($F(1,20)=73$, $p<.001$, $\eta^2_p=.78$), with a higher trajectory during the transport (64.3 mm) than the grasping (58.3 mm) phase. Finally, wrist elevation was influenced by eye level ($F(1,20)=5.3$, $p<.05$, $\eta^2_p=.21$), with a higher trajectory when participants were in the presence of a partner who had a higher seat (5 cm condition, 63.4 mm) than a seat at the same height as theirs (0 cm condition, 59.6 mm). However, there was no interaction between the three factors (social intention/movement phase: $F(1,20)=0.01$, social intention/eye level: $F(1,20)=0.29$, movement phase/eye level: $F(1,20)=0.87$, social intention/movement phase/eye level: $F(1,20)=1.17$, all ns; see Figure 4)

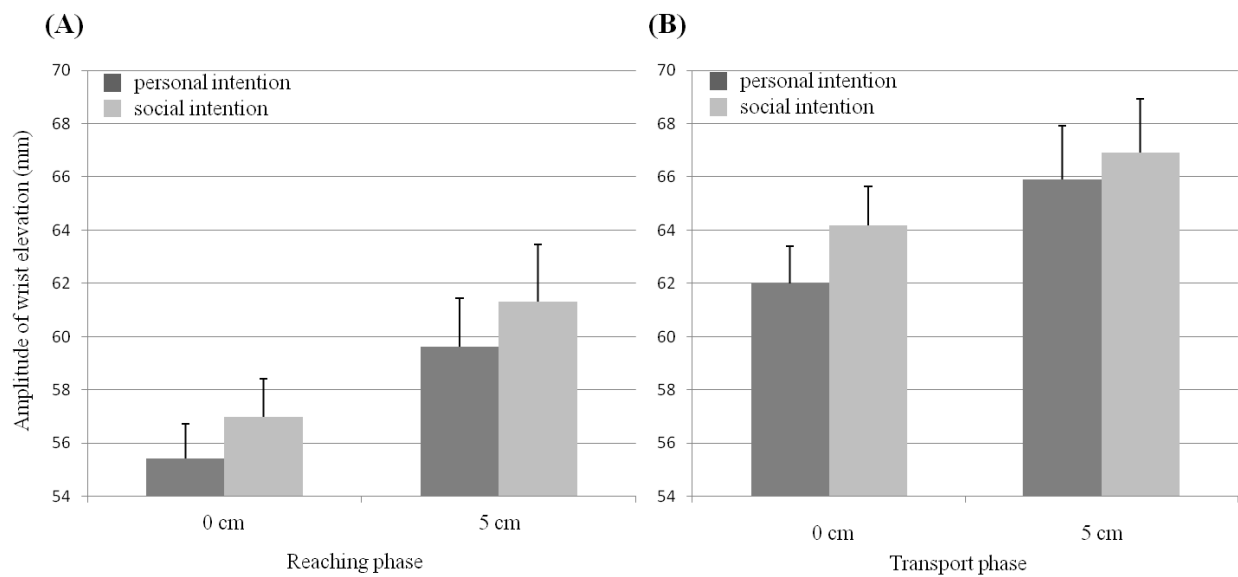


Figure 4. Wrist elevation as a function of social intention and partner's eye level for both (A) the reaching and (B) the transport phases of the Preparatory action. Error bars represent the standard error.

Peak wrist velocity

Peak wrist velocity was not influenced by social intention ($F(1,20)=0.39$, ns), nor by eye level ($F(1,20)=0.88$, ns). However, it was influenced by the movement phase ($F(1,20)=34$, $p<.001$, $\eta^2_p=.63$), with a lower peak wrist velocity during the transport (522 mm.s^{-1}) than the grasping (607 mm.s^{-1}) phase, although more when endorsing a social (-101 mm.s^{-1}) rather than a personal (-70 mm.s^{-1}) intention, as shown by the significant intention/movement phase interaction ($F(1,20)=24.4$, $p<.001$, $\eta^2_p=.55$). All the other interactions were not significant (social intention/eye level: $F(1,20)=0.12$, movement phase/eye level: $F(1,20)=1.37$, social intention/movement phase/eye level: $F(1,20)=0.86$, all ns)

Discussion

In the present study, we examined the role of the eye level of a confederate in the execution of individual or cooperative voluntary reach-to-grasp movements. First of all, our data confirm previous findings concerning the effect on an actor of endorsing social intention. Analyses of the *Preparatory action* revealed that participants took more time to initiate their action, which was performed at a slower speed and with a higher hand trajectory, when they placed the wooden dowel knowing that the *Main action* would be performed by the partner (Becchio et al., 2008; Quesque et al., 2013). It is also worth noting that, although spatio-temporal variations relating to social intention were quite subtle (around 80 ms for reaction time, 20 ms for movement duration and 2 mm for wrist elevation), they were significant and consistent across different studies (Quesque et al., 2013). Taken together, these effects support the hypothesis that when endorsing a social intention, humans tend to exaggerate the spatio-temporal parameters of movements, probably in order to facilitate the confederate's

detection of the motor and social goals of the planned action, and thus improve cooperative situations. This interpretation is supported by the findings showing that humans tend to increase the amplitude of their actions when performing explicit intentional communicative (pantomime) compared to non-communicative (actual use) object-related movements (Hermsdörfer, Hentze, & Goldenberg, 2006; Hermsdörfer, Li, Randerath, Goldenberg, & Johannsen, 2012).

The novelty of this study is that the unnoticed modification of the body characteristics of a partner had a sharp effect on the spatio-temporal parameters of object-oriented voluntary action. Modifying the partner's eye level had an effect on the *Preparatory action* with participants producing movements with a higher amplitude when the partner's seat was 5 cm higher than when it was at the same height as their own, suggesting that the properties of the other person's body are implicitly taken into account when producing a motor action in a social context. These modulations of hand trajectory when acting in a social context might reflect specific attention allocation to several sources of information, as requested by the task (Diedrichsen, Werner, Schmidt & Trommershäuser, 2004; Howard & Tipper, 1997). For example, one may speculate that when a person performs a voluntary motor action in the presence of a partner, the latter's eye level represents a spatial target influencing the movement parameters specified to reach a particular object in the environment. The fact that social context influences object-oriented motor actions has already been suggested in previous studies (e.g. Cleret de Langavant et al., 2011; Gianelli et al., 2011; Quesque et al., 2013). In particular, Cleret de Langavant et al. (2011) showed that trajectories of pointing movements performed after giving a verbal instruction to a confederate slightly shifted in the direction of the confederate compared to pointing movements performed in a non-communicative context. The new result here is that the height of the confederate is also considered when planning and

executing object-oriented motor actions. Though the present study focuses on eye level, it is worth noting that other cues might have contributed to the observed effect, as for instance body, shoulder or head height, the bending of the head or even a change in arm posture. However, previous works have shown that gaze is a crucial component of social interactions (Argyle & Cook, 1976; Becchio, Bertone & Castiello, 2008; Kleinke, 1986; Langton, Watt, & Bruce, 2000) and that gaze direction influences motor kinematics in a social context (Ferri et al., 2011a; Innocenti et al., 2012; Scorolli et al., 2014). No previous study has shown that body height in itself or a change in arm posture influences motor kinematics in a social context. Taken together, these data suggest that eye level contributes to the social effect observed in the present study, though whether other information contributes to the effect remains an open question.

Strikingly, the effect of the partner's eye level appeared both when social intention was endorsed and when participants followed personal goals. In fact, no interaction was found between the factors of Social intention and Partner's eye level, suggesting that even in the absence of communicative instructions, the gaze characteristics of a conspecific are taken into account when planning an object-oriented motor action. These results confirm the special importance of human bodies in motor performances in a social context (Cleret de Langavant et al., 2012). They also corroborate previous findings that the presence of conspecifics automatically leads to considering their perspectives (Mainwaring, Tversky, Ohgishi & Schiano, 2003; Qureshi, Apperly & Samson, 2010; Samson, Apperly, Braithwaite, Andrews & Bodley Scott, 2010; Tversky & Martin Hard, 2009) and to processing objects in the environment with reference to them (Becchio, Del Giudice, Dal Monte, Latini-Corazzini & Pia, 2011). It remains possible that changing the eye level of the partner influenced the head-eye coordination strategies of participants, resulting in a change in movement control.

However, although head-eye movements were not recorded, this could hardly account for the observed effect of the partner's eye level on movement amplitude since the participants and the partner had to keep their gaze on the wooden dowel when either was acting. It is worth noting that, in our study, the interactions between participants and the partner occurred in a pre-specified cooperative context. It thus remains to be established whether the influence of conspecific gaze characteristics on motor performances is still effective when the conspecifics are no longer partners but competitors. It would also be interesting to evaluate in future research whether the influence of body characteristics of conspecifics arises in a non-predefined communicative context and in a multi-agent social context.

In conclusion, although further investigations are necessary to unravel the effect of social intention on voluntary motor action, the present study demonstrates that the body characteristics of a partner, in particular their eye level, are implicitly taken into account when performing a motor action in cooperative and non-cooperative tasks. This suggests that the conspecific's body represents one of the crucial variables that constrain motor planning and execution.

Avant-propos :

Étude 3 – Perception directe d'intention sociale depuis les actions motrices

À travers les études 1 et 2, un pattern spécifique de variations cinématiques a été retrouvé pour les actions motrices exécutées avec une intention sociale par comparaison à celles effectuées pour soi-même. Ainsi, lorsqu'une action est réalisée pour autrui, on observe une exagération de ses caractéristiques spatio-temporelles : elle est produite plus lentement et suit des trajectoires davantage courbées. Puisque ces variations cinématiques sont associées à un coût énergétique non-optimal du point de vue de l'individu, nous faisons l'hypothèse que si celles-ci apparaissent de façon consistante, c'est qu'elles sont bénéfiques du point de vue des interactions sociales. Nous postulons ainsi que ces variations ont pour fonction de faciliter la réalisation d'actions impliquant plusieurs personnes. En percevant implicitement des informations relatives à l'intention sociale poursuivie par un individu, il serait possible pour un observateur d'anticiper les actions à venir et ainsi de réaliser une réponse motrice adaptée. Afin de tester cette hypothèse, nous avons conduit une troisième étude sur des participants recrutés par binômes. Les participants venaient par deux au laboratoire et se voyaient aléatoirement attribuer les rôles d'Acteur et de Partenaire (voir description du dispositif expérimental, dans le préambule de cette partie du manuscrit). Cette fois, les signaux sonores déclenchant les différentes actions de la séquence étaient délivrés à l'aide de casques audio, ce qui permettait de transmettre des informations différentes à l'Acteur et au Partenaire. Les sons déclenchant la production de l'*Action préparatoire* chez l'Acteur pouvaient l'informer de la personne qui allait devoir réaliser la prochaine *Action principale* (« Moi », « Lui ») ou ne donner aucune information (« Prêt »). Le Partenaire ne recevait lui que des sons non-

informatifs (« Prêt »). À nouveau, nous nous attendons à observer un effet de l'intention sociale sur la cinématique des mouvements de l'*Action préparatoire* de l'Acteur. De plus, cette fois, nous nous attendons à ce que les Partenaires soient facilités dans la production des *Actions principales* lorsque l'Acteur a réalisé l'*Action préparatoire* en poursuivant une intention sociale (condition « Lui ») plutôt que lorsque l'Acteur n'a pas d'information (« Prêt »).

Etude 3:

Facilitation effect of observed motor deviants in a cooperative motor task: Evidence for direct perception of social intention in action

Abstract

Spatio-temporal parameters of voluntary motor action may help optimize human social interactions. Yet it is unknown whether individuals performing a cooperative task spontaneously perceive subtly informative social cues emerging through voluntary actions. In the present study, an auditory cue was provided through headphones to an Actor and a Partner who faced each other. Depending on the pitch of the auditory cue, either the Actor or the Partner were required to grasp and move a wooden dowel under time constraints from a central to a lateral position. Before this main action, the Actor performed a preparatory action under no time constraint, consisting in placing the wooden dowel on the central location when receiving either a neutral ("prêt"-ready) or an informative auditory cue relative to who will be asked to perform the main action (the Actor: "moi"-me, or the Partner: "lui"-him). Although the task focused on the main action, analysis of motor performances revealed that Actors performed the preparatory action with longer reaction times and higher trajectories when informed that the Partner would be performing the main action. In this same condition, Partners executed the main actions with shorter reaction times and lower velocities, despite having received no previous informative cues. These results demonstrate that the mere

observation of socially driven motor actions spontaneously influences the low-level kinematics of voluntary motor actions performed by the observer during a cooperative motor task. These findings indicate that social intention can be anticipated from the mere observation of action patterns.

Introduction

Optimal control models of biological movements are used to account for the external and internal variables that constrain voluntary goal-directed actions (Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994) and contribute to adaptation of human behaviour in the vast diversity of situations normally encountered (Van Beers, Haggard & Wolpert, 2004). Currently, these models have difficulty in accounting for higher levels of action control, in particular with respect to motor and social intentions (e.g., Grafton & Hamilton, 2007). As pointed out by Jacob and Jeannerod (2005), motor intention refers to the intended effects of a goal directed action in the environment, and thus represents one category of internal variables that may substantially influence the planning of voluntary actions. Marteniuk, Mackenzie, Jeannerod, Athenes & Dugas (1987) were the first to show that reach-to-grasp movements towards an object differ depending on the final goal of the grasping movement (e.g. “placing” or “throwing” the object, the former being associated with a longer deceleration phase). The effect of motor intention on spatio-temporal features of motor execution was later confirmed in various grasping tasks (Ansuini, Giosa, Turella, Altoe & Castiello, 2008; Ansuini, Santello, Massaccesi & Castiello, 2006; Naish, Reader, Houston-Price, Bremner & Holmes, 2013; Springer, Hamilton & Cross, 2012), and generalised to pointing (Chary, Méary, Orliaguet, David, Moreaud, & Kandel, 2004), writing (Orliaguet, Kandel & Boë, 1997) and communicative gesturing (Pennel, Coello & Orliaguet, 1999). It was further shown that observing the visuo-spatial variations in motor execution of a purposeful voluntary action permits detection of the motor intention long before the action is completed (Lewkowicz, Delevoye-Turrell, Bailly, Andry, & Gaussier, 2013; Méary, Chary, Palluel & Orliaguet, 2005; Springer, Hamilton & Cross, 2012) and can thus influence interactions during joint actions

when interacting agents share the same motor intention (Bratman, 1992; Newman-Norlund, Noordzij, Meulenbroek, & Bekkering, 2007; Herbort, Koning, van Uem & Meulenbroek, 2012). Social intention is different from motor intention in that it is grounded in interactive contexts in which other actors are needed to satisfy motor goals (Ciaramidaro et al., 2007). Social intention refers to the goal-directed action's intended effects on the co-actor (Jacob & Jeannerod, 2005). Importantly, different social intentions may be associated with the very same motor intention, this being well illustrated by the Dr. Jekyll and Mr. Hyde paradox⁵ (Jacob & Jeannerod, 2005). Thus, in contrast to motor intentions, social intentions have been thought to be undetectable by observation of the kinematic parameters of voluntary motor actions (Jacob, 2013; Jeannerod, 2006).

Recent studies have suggested, to the contrary, that social context may influence the performance of voluntary motor actions (Scorolli, Miatton, Wheaton & Borghi, 2014; Quesque, Lewkowicz, Delevoye-Turell & Coello, 2013). For instance, acting in the presence of a confederate influences the kinematic pattern of motor responses, and the extent of this effect depends on the distance between the actor and the confederate (Gianelli, Scorolli, & Borghi, 2013; Quesque et al., 2013). Furthermore, the spatio-temporal features of a grasping

⁵ Put at the forefront of the neuroscientific debate on intentionality by Jacob and Jeannerod (2005), Robert Louis Stevenson's story of "split personality" presents Dr. Jekyll, alias Mr. Hyde, a renowned surgeon who performs appendectomies on his anesthetised patients to heal them during the day, but to murder them during the night. He thus executes the same motor sequence during the day and at night, whereby he grasps his scalpel and applies it to the same bodily part of two different persons. According to Jacob and Jeannerod, Dr. Jekyll's motor intention is the same as Mr. Hyde's, although Dr. Jekyll's social intention (improving patient's health) clearly differs from Mr. Hyde's social intention (enjoying victim's agony). Social intention was thus thought to be hardly identifiable from movement characteristics.

movement differ when a confederate serves as the target for the motor action (Becchio, Sartori, Bulgheroni & Castiello, 2008b; Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli & Gentilucci, 2011) or when the goal of the motor action is to manipulate the object with the social intention of communicating information to a confederate (Sartori, Becchio, Bara & Castiello, 2009). These effects on movement kinematics have been interpreted as providing implicit but potentially informative signals that can be used by social agents when communication or interaction processes are engaged (Sartori et al., 2009). However, as noted by Obhi (2012), when probing the observers' capacity to identify the effects of social context on action parameters, the tasks used were often explicit and categorical (e.g., forced-choice paradigm distinguishing social and non-social conditions, Sartori, Becchio & Castiello, 2011; Manera, Becchio, Cavallo, Sartori & Castiello, 2011). Consequently, even if the effect of social context on the kinematics of voluntary motor actions is suggested by a large amount of data, there is yet no specific evidence supporting the idea that observers are sensitive to the effect of social intention on the observed motor action (see Quesque & Coello, 2015, for a discussion). Furthermore, no study has reported whether motor variations can be observed and used, however subtly, in a cooperative motor task.

To investigate these issues we recently developed an original sequential motor task that allows direct assessment of whether humans show specific sensitivity to the effect of social intention on spatio-temporal characteristics of voluntary motor actions (Quesque et al., 2013; Quesque & Coello, 2014). The sequential motor task comprised a Preparatory and a Main action performed successively from the same starting location. The Preparatory action was always performed by the Actor and consisted in moving a wooden dowel along the mid-body axis from a nearby to a central location, without time constraints, and in full view of the Partner. The Main action was performed by either the Actor or the Partner (different

sessions). It was time constrained ($> 80\%$ of the possible maximum speed) and consisted in moving the wooden dowel from the central to a lateral location. Although the Preparatory action was always performed by the Actor, Quesque et al. (2013, 2014) found that it was influenced by whether the up-coming Main action was performed by the Actor or the Partner. More specifically, reaction times increased and the hand path revealed a higher elevation when the wooden dowel was placed for the Partner. This study thus demonstrated that the social intention associated with the Preparatory action influences its execution, although this was never explicitly perceived by the participants.

The aim of the present study was to assess whether Partners show specific sensitivity to the effect of social intention on voluntary motor actions and whether this influences the planning of their own motor actions. We used an experimental paradigm similar to the one used by Quesque et al. (2013, 2014) in which either an Actor or a Partner performed the Main action depending on the pitch of an auditory cue. However, the present study had two novel features. The Main action was executed randomly by either the Actor or the Partner as a function of the pitch of an auditory cue, and another cue was provided to the Actor (but not to the Partner) prior to performing the Preparatory action. This private cue told the Actor who would be performing the up-coming Main action. Assuming that the Partner is sensitive to motor deviants that are related to social intention, in particular those revealed during the Preparatory action, we predicted that the Partner's motor patterns during the Main action are implicitly influenced by the motor patterns revealed in the Actor's Preparatory action depending on the Actor's social intention.

Material and methods

Participants

Forty healthy adults were recruited as working dyads. Participants were all right-handed (as determined by the Edinburgh Handedness Inventory, Oldfield, 1971) and were between 20 and 30 years of age (mean age = 22.2 years, SD = 2.2 years). They had no prior knowledge about the scientific aim of the study and provided written informed consent before participating. The protocol followed the ethical standards defined by the local IRB and conformed to the principles of the Declaration of Helsinki (World Medical Association, 2013).

Apparatus and procedure

The participants' task was to grasp and move a wooden dowel (diameter 2 cm, height 4 cm) on a table (120 cm x 80 cm) on which black markings (2 cm x 2 cm) indicated three specific locations that will be referred hereafter as the initial, central and final positions. In addition, the starting positions of the participants' right hand were indicated by black markings (10 cm x 10 cm) placed at the edges of the table. Participants were seated on either side of the table, facing each other and were respectively called the "Actor" and the "Partner" (roles were randomly assigned to each pair of participants). The central position was situated at the centre of the table equidistant from the Actor and the Partner. The initial position was midway between the central position and the Actor's starting position. The task was to move the wooden dowel from the initial to the central location, then from the central to the final location and finally from the final to the initial location in a sequence of three successive manual actions: a Preparatory action, a Main action and a Repositioning action (see Figure 1). The Preparatory action was always performed by the Actor and consisted of moving the

wooden dowel, under no time constraint, from the initial to the central position (15 cm). The Main action (performed either by the Actor or the Partner – see below) consisted of moving the wooden dowel from the central to the final position (15 cm) as fast as possible. The Repositioning action was always performed by the Actor, and consisted in moving the wooden dowel, under no time constraint, from the final to the initial position, thus readying the setup for the next trial. Thus, time constraints were placed only on the Main action, perceived by the participants as the important component of the sequential task in which the speed of the participants' wrist was required to be greater than 80% of maximal speed, the latter being registered in a pre-experiment session (see below). The Actor and the Partner set their hand back to the starting position after each movement in the sequence.

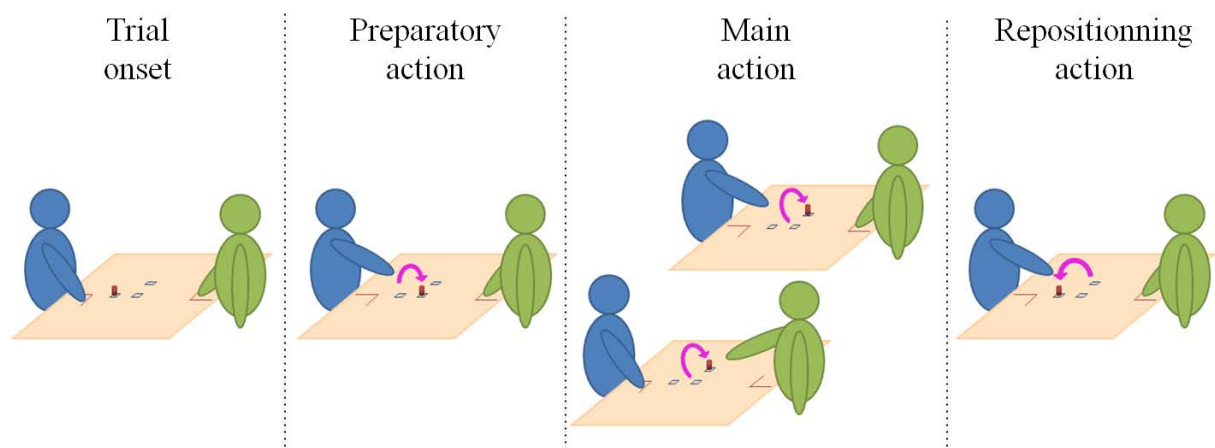


Figure 1. The actions' sequence always started with the wooden dowel placed on the initial location target and with the Actor (in blue) and the Partner (in green) pinching their index finger and thumb together on their respective starting location. The Preparatory action consisted for the Actor in displacing the object from the initial to the central location. The Main action consisted for either the Actor or the Partner in displacing the dowel from the central to the final location. Finally, the Repositioning action was always performed by the Actor and consisted in displacing the wooden dowel from the final to the initial location, making the setup ready for the next trial.

Each movement in the sequences was triggered by an auditory cue, which was individually delivered through headphones to both the Actor and the Partner. Auditory cues used to trigger the Preparatory action performed by the Actor could be either a neutral word ("prêt"-ready) or an informative word (the Actor: "moi"-me, or the Partner: "lui"-him), indicating to the Actor (only) which of the two would perform the up-coming Main action. The Partner always received a neutral word and was not aware of the fact that the Actor received either a neutral or an informative word. The auditory cue for the Main action was either a low- or a high-pitched sound (50:50 randomly), indicating to the both participants whether the Main action was to be performed by the Actor (high-pitched) or by the Partner (low-pitched). Low- and high-pitched auditory cues (50 trials each) were delivered while the Actor knew in advance (Preparatory action cue) which person was to perform the Main action (50% of the trials) or not (50% of the trials). Hence, the Partner could never anticipate who would be doing the Main action. The Repositioning action cue was a constant pitch sound, either a clinking of coins or a buzz, which signified respectively success or failure regarding the speed and accuracy of the motor performance of the Main action. In order to prevent anticipatory strategies by the participants in particular during the Main action, the inter-trial interval varied randomly between 3 and 3.5 s; the interval between the Preparatory action and the Main action auditory cues varied randomly between 3.5 and 4 s and the interval between the Main action and the Repositioning action auditory cues was fixed to 2 s (see Figure 2).

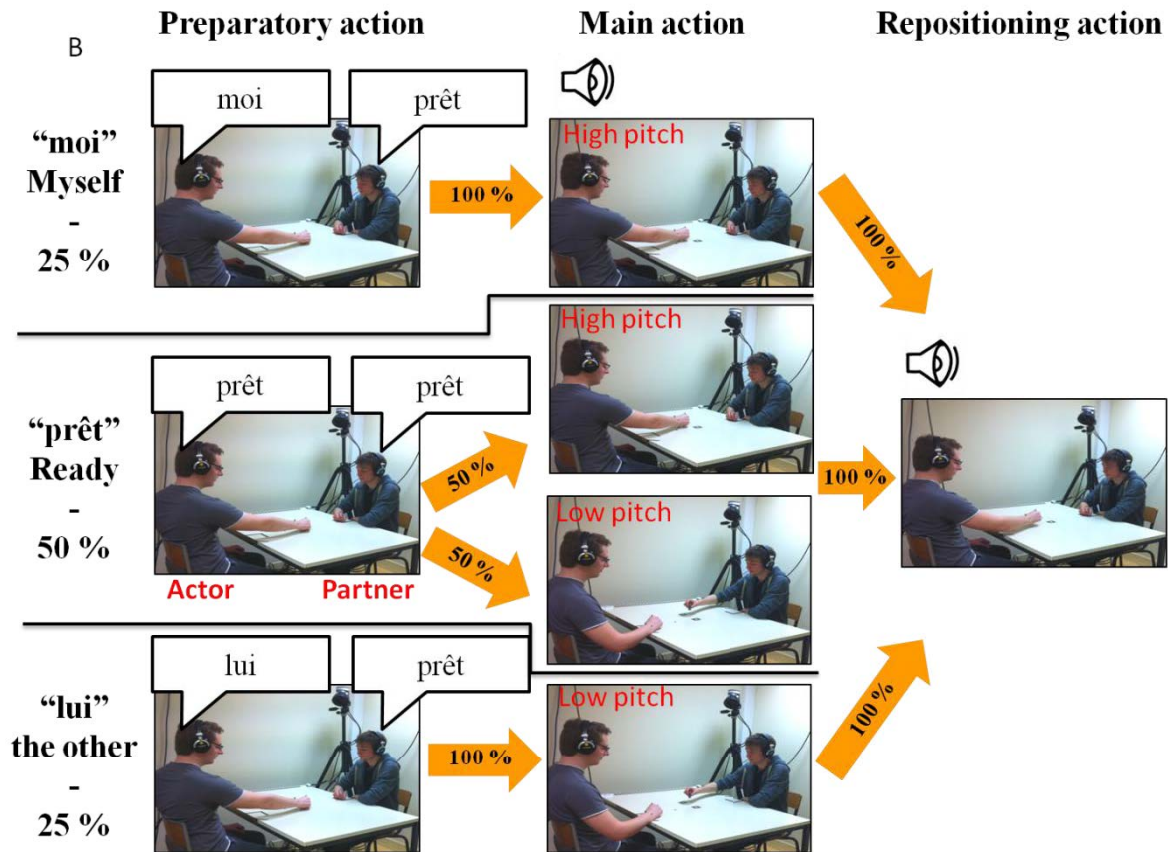


Figure 2. Representation of the experimental design and the different experimental conditions.

Before the start of the session, all participants underwent three practice blocks of 15 trials each. The first practice block was performed to obtain an estimate of the maximum speed at which the participants could grasp the wooden dowel from the central position and place it accurately in the final position (Main action). We used an adjustment procedure similar to the one used in Quesque et al. (2013). The second practice block was done to familiarise the participants with the different auditory cues and the appropriate motor responses. In this practice block, participants did not wear the headphones and they heard the auditory cues through speakers. Only the "prêt"-ready auditory cue was used to trigger the Preparatory action performed by the Actor; the low- and high-pitched cues were used to trigger the Main action performed by either the Actor or the Partner. The clinking of coins and buzz sounds were used to trigger the Repositioning action performed by the Actor. At the end

of the practice blocks and before starting the experiment proper, participants took their headphones off and were individually given written instructions while nothing was said about the fact that the instructions were different for Actor and Partner. In particular, the Actor was informed that the cue used to trigger the Preparatory action would be either a neutral word ("prêt"-ready) as in the practice block, or an informative word indicating who would perform the Main action (the Actor: "moi"-me, or the Partner: "lui"-him). The Partner was instructed that the cue used to trigger the Preparatory action was always a neutral word ("prêt"-ready) as in the practice block. Both the Actor and the Partner were also informed that the auditory cues used to trigger the Main action and the Repositioning action would be those heard during the practice block.

From that moment on, participants were not allowed to communicate and they were asked to keep their gaze set on the table, i.e., gaze set on the wooden dowel. The experimenter was present during the whole session so as to ensure that participants followed the instructions and did not communicate. An experimental block of 100 trials was then performed; a short rest was given every 25 trials. The Actor performed 100 Preparatory actions, 50 Main actions (25 following the auditory cue "moi"-me and "prêt"-ready respectively in the Preparatory action) and 100 Repositioning actions. The Partners performed 50 Main actions only (25 following a Preparatory action performed by the Actor with the auditory cue "lui"-him; 25 following a Preparatory action performed by the Actor with the auditory cue "prêt"-ready). During the Preparatory action, the Partners always received the neutral "prêt"-ready auditory cue.

Post-experiment debriefing was done to assess whether the Actors were aware of the expected effects of auditory cuing on motor performances, and whether the Partners were aware that

different instructions had been given to the participants. This was the case in none of the participants. In all the session lasted approximately 45 minutes.

Data recording and analysis

The participants' motor performances were recorded using Qualisys 4 Oqus infrared cameras (Qualisys AB, Guthenburg, Sweden). Infrared reflective markers were placed on the forefinger (base and tip), the thumb (tip) and the wrist (scaphoid) of the participants' right hand. One additional marker was placed on the wooden dowel. Cameras were calibrated before each session, allowing the system to reach a standard deviation accuracy of maximum 0.2 mm, at a sampling rate of 200 Hz. Each action in the motor sequence was characterised by a grasping phase and a transport phase. The focus was placed on movement parameters that are known to be affected by social intention, namely reaction time, movement time, peak wrist velocity, and height of the trajectory in the grasping and transport phases (Becchio et al., 2008; Quesque et al., 2013, 2014). Reaction times, movement times and trajectory elevations were computed from the 3D coordinates of the reflective marker placed on the wrist using RTMocap toolbox for Matlab (Lewkowicz & Delevoye-Turrell, 2015). Temporal and kinematic parameters of the (x,y,z) coordinates of the wrist marker were computed from tangential velocity profiles after filtering the data using a second-order Butterworth dual pass filter (cutoff frequency: 15 Hz). Movement onset was defined as when the first velocity value reached 20 mm.s^{-1} . Movement end was defined as the time the velocity profile reached the minimum value following peak velocity in the transport phase. Reaction time corresponded to the time separating the Preparatory action auditory cue from movement onset. Movement time corresponded to the time separating movement onset from movement end. Peak wrist velocity corresponded to the maximum velocity reached by the wrist during the grasping and transport

phase, respectively. The maximum height of trajectory was defined as the maximum z coordinate of the wrist measured in the grasping and transport phases.

A one-way repeated-measures ANOVA with three levels corresponding to the type of prior information given to the Actor about the Main action (neutral information-“prêt”, Actor Main action-“moi”, Partner Main action-“lui”) was computed on the following variables: mean reaction times, mean movement times, peak wrist velocities, and maximum heights of the grasping and transport phases of hand trajectories. Post-hoc comparisons were performed using Tukey's HSD test ($\alpha=.05$ for all comparisons). Effect sizes were indexed using partial Eta-squared (η^2_p).

Results

Trials were excluded from the analysis if a participant responded erroneously, if the marker was not registered correctly during the entire movement, or if reaction time was shorter than 200 ms or longer than 2.5 standard deviations from the median (Leys, Ley, Klein, Bernard, & Licata, 2013). In the present study, 7.7% and 9.2% of the Main and Preparatory actions were excluded for these specific reasons, respectively. These exclusions were distributed approximately equally across the conditions.

Preparatory action performed by the Actors

Concerning the Preparatory action, we found for reaction time a significant effect of prior information provided to the Actors ($F(2,38)=78.96$, $p<.001$, $\eta^2_p=.81$). Mean reaction time was longer when Actors acted on the wooden dowel knowing that the Partners would perform the Main action (553 ms) compared to when they knew that the Main action was to be performed by themselves (473 ms, $p<.001$) or when they received neutral information (487 ms, $p<.001$). The differences found between the two latter conditions did not reach

significance ($p=.12$). We also found that prior information had a significant effect on wrist elevation during the transport phase ($F(2,38)=5.64$, $p<.01$, $\eta^2_p=.23$), namely movement trajectory arched higher when the Actors knew that the Partners would be performing the Main action (62.6 mm) compared to when the Actors knew that they themselves would be performing it (61.4 mm, $p=.012$) or when they received neutral information (61.5 mm, $p=.022$). Wrist elevation did not differ significantly between the two latter conditions ($p=.97$). No other significant effects of prior information on movement times or kinematic parameters, either on the grasping or on the transport phases, were revealed in the Preparatory action (see Table 1 and Figure 3).

Main action performed by the Actors

When the Actors knew in advance that they were to perform the Main action, mean reaction time of the Main action (355 ms) was shorter than when they received neutral information (441 ms, $F(1,19)=146.07$, $p<.001$, $\eta^2_p=.88$). Moreover, the grasping phase was slower (486 ms vs 468 ms, $F(1,19)=11.94$, $p=.003$, $\eta^2_p=.39$) and was performed with a lower peak velocity (1189 vs 1227 mm.s⁻¹, $F(1,19)=15.34$, $p<.001$, $\eta^2_p=.45$), and lower elevation (65.6 vs 68.1 mm, $F(1,19)=146.07$, $p<.001$, $\eta^2_p=.88$). No effects were observed in the parameters of the transport phase (see Table 1 and Figure 3).

Main action performed by the Partners

Although they themselves always received neutral auditory cues during the Preparatory action, the Partners' motor performances during the Main action were characterised by shorter reaction times (457 vs 467 ms, $F(1,19)=8.13$, $p=.010$, $\eta^2_p=.30$), and longer grasping phases (443 vs 439 ms, $F(1,19)=4.34$, $p=.049$, $\eta^2_p=.19$) when the Actors knew in advance that the Partners would be performing the Main action compared to the

condition in which the Actors received neutral information. The Partners' grasping phase also showed lower peak velocity (1293 vs 1309 mm.s⁻¹, $F(1,19)=6.17$, $p=.022$, $\eta^2_p=.25$), as did the Transport phases (692 vs 701 mm.s⁻¹, $F(1,19)=7.98$, $p=.011$, $\eta^2_p=.30$, see Table 1 and Figure 3).

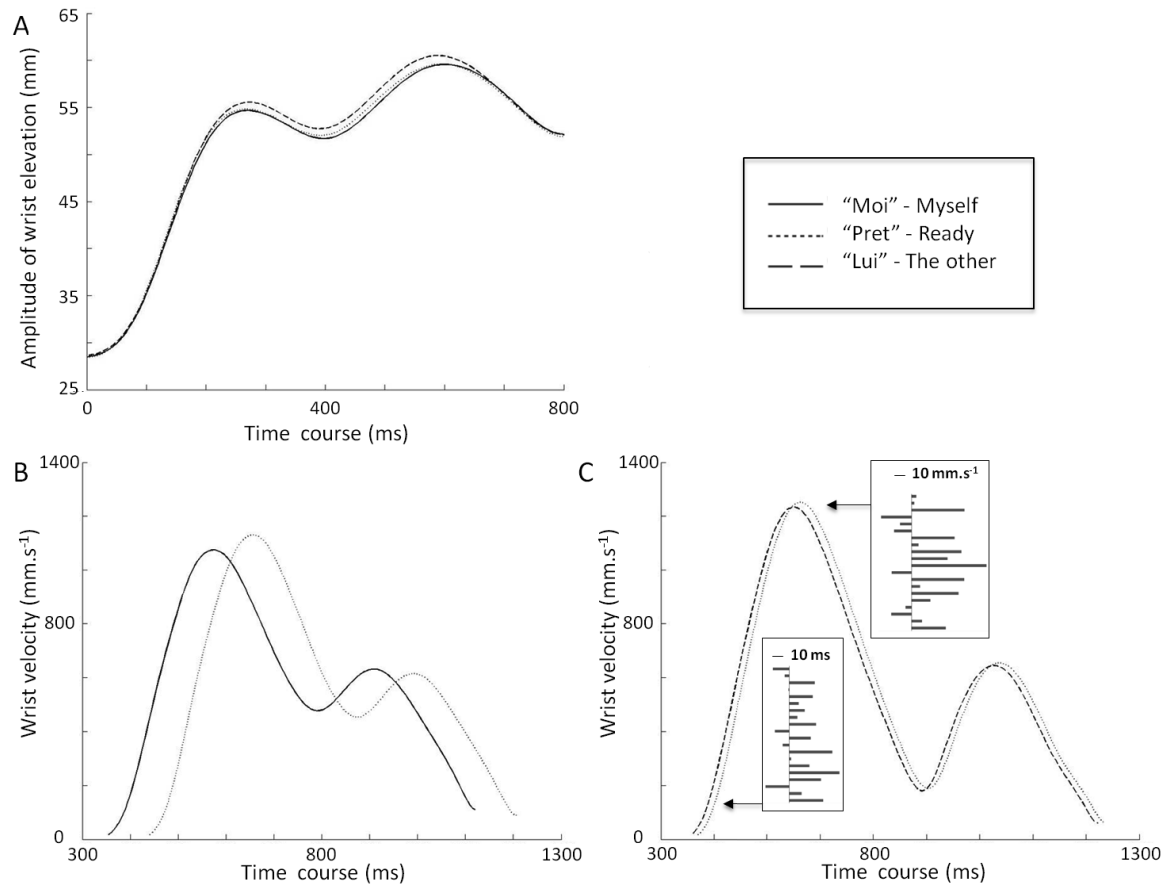


Figure 3. A) Mean trajectories of the Preparatory action in the sagittal plane and B) mean kinematic patterns of the Main action in the different experimental conditions for the Actors. C) Mean kinematic patterns of the Main action in the different experimental conditions for the Partners. Individual variations of performances for reaction time (ms) and wrist peak velocity (mm.s⁻¹) in the conditions tested are also reported for the Partners.

Table 1. Mean reaction time (ms), maximum wrist velocity (mm.s-1), maximum wrist elevation (mm), and movement time (ms) of the grasping and transport phases for the Actors' Preparatory action, Actors' Main action and Partners' Main action. Standard deviations are shown in brackets. * $p<.05$, ** $p<.01$, † $p<.001$ for comparison with irrelevant prior information condition (PRÊT-Ready).

Actor's Preparatory action	Auditory cue for the Preparatory action		
	MOI-Self	PRÊT-Ready	LUI-Other
Reaction time (ms)	473 (71)	487 (76)	553 (87) †
Grasping phase			
Maximum wrist velocity (mm/s)	665 (79)	670 (81)	672 (81)
Maximum wrist elevation (mm)	56.1 (8.5)	56.5 (8.5)	56.6 (7.5)
Movement time (ms)	411 (50)	416 (47)	408 (44)
Transport phase			
Maximum wrist velocity (mm/s)	586 (73)	585 (75)	586 (71)
Maximum wrist elevation (mm)	61.4 (8.1)	61.5 (7.9)	62.6 (7.7)**
Movement time (ms)	402 (80)	412 (84)	403 (74)
Actor's Main action	MOI-Self	PRÊT-Ready	LUI-Other
Reaction time (ms)	355 (38) †	441 (37)	-
Grasping phase			
Maximum wrist velocity (mm/s)	1189 (151) †	1227 (143)	-
Maximum wrist elevation (mm)	65.6 (9.2) †	68.1 (9.1)	-
Movement time (ms)	486 (72) **	468 (71)	-
Transport phase			
Maximum wrist velocity (mm/s)	668 (125)	658 (100)	-
Maximum wrist elevation (mm)	65.2(8.2)	65.7 (8.1)	-
Movement time (ms)	349 (71)	344 (54)	-
Partner's Main action	MOI-Self	PRÊT-Ready	LUI-Other
Reaction time (ms)	-	467 (37)	457 (37) *
Grasping phase			
Maximum wrist velocity (mm/s)	-	1309 (152)	1293 (140) *
Maximum wrist elevation (mm)	-	70.5 (8.9)	70.1 (8.7)
Movement time (ms)	-	439 (49)	443 (45) *
Transport phase			
Maximum wrist velocity (mm/s)	-	701 (89)	692 (86) *
Maximum wrist elevation (mm)	-	79.5 (10.3)	79.8 (9.8)
Movement time (ms)	-	338 (43)	339 (44)

In order to confirm that the effects observed in the Partners' motor performances were related to the variations in the Actors' Preparatory actions, we analysed the spatial and temporal variations of the Partners' motor responses as a function of the characteristics of the Actors' performances in the condition for which the Actors knew in advance that the Partners would be performing the Main action. For each dyad, we divided the Actors' performances into two sets including (a) the trials in which transport phase reaction time and wrist elevation both fell below their respective median values (benchmarks) seen in the preparatory action (26% of the trials) or (b) the trials in which transport phase reaction time and wrist elevation both rose above their respective median values (benchmarks) seen in the preparatory action (27% of the trials). Comparing the performances of the Partners across those two sets of trials, we found that they responded with shorter reaction times ($F(1,19)=3.085$, $p=.047$, $\eta^2_p=.14$, with respectively 457 ms and 466 ms) and had slower grasping phases ($F(1,19)=3.174$, $p=.045$, $\eta^2_p=.14$, with respectively 445 ms and 438 ms) that were characterized by lower peak velocities ($F(1,19)=4.45$, $p=.02$, $\eta^2_p=.19$, with respectively 1290 mm.s⁻¹ and 1311 mm.s⁻¹) when the Actors produced the Preparatory action with longer reaction times and higher wrist elevations with respect to their benchmark median values. Overall, these results strongly suggest that it was the kinematic variations associated with the Actors' social intention that influenced the motor planning of the Partners' voluntary action.

Discussion

The aim of the present study was to examine whether motor deviants emerging from social intention can be directly perceived through the observation of the kinematic patterns of motor actions performed by a partner. To assess this question avoiding explicit judgments (Sartori, Becchio & Castiello, 2011; Manera, Becchio, Cavallo, Sartori & Castiello, 2011), we used an experimental paradigm in which either an Actor or a Partner performed a Main action after the Actor had previously performed a Preparatory action. The novel feature of the present study was that the Preparatory action was initiated from an auditory cue informing the Actors (but not the Partners) about who would be asked to perform the up-coming Main action. Previous studies have shown that performing a Preparatory action while knowing that the Main action will be performed by the Partner modifies the kinematic pattern of the motor performance (Quesque et al., 2013, Quesque & Coello, 2014, but using blocked sessions). Furthermore, when the Actors knew that they would need to perform the Main action, the latter was performed differently. In this context, assuming that individuals are sensitive to the social intentions emerging through motor actions, we hypothesized that the Main actions performed by the Partners would be influenced by the Preparatory actions performed by the Actors when the latter were modulated by social intention.

First, concerning the influence of the social context on motor performances, our data confirm previous findings. Concerning in particular the Preparatory action: Actors took more time to initiate their actions (Quesque et al., 2013; Quesque & Coello, 2014) and produced higher hand trajectories (Becchio et al., 2008b; Quesque et al., 2013; Quesque & Coello, 2014) when they moved the wooden dowel for the Partners rather than for themselves. Such an exaggeration of movement characteristics has been previously interpreted as an implicit

strategy to catch the Partner's attention, the movements being performed with a greater amplitudes in relation to the Partner's eye level (Quesque & Coello, 2014). Indeed, numerous studies have pointed out the predominant role of gaze in human's social interactions (Becchio, Bertone & Castiello, 2008; Kleinke, 1986; Langton, Watt, & Bruce, 2000). It then makes sense to consider eye-level as a crucial element of non-verbal communication and thus influencing the implementation of goal-directed action performed in a social interaction context (Quesque & Coello, 2014). Moreover, when the Actors knew in advance that they would need to perform the Main action, it was performed with shorter reaction times and longer movement durations associated with lower velocity peaks (Quesque et al., 2013). Overall, these results replicate previous findings (Quesque et al., 2013; Quesque & Coello, 2014), but using a randomized design. The striking finding of the present study was that a similar pattern of results was observed when the Partners performed the Main action. Concretely, Partners' responses showed shorter reaction times, and movements were slower and performed with lower peak velocities when the Actors initiated the Preparatory action knowing that the Partners would be the one to perform the Main action. This was in contrast to the patterns of results obtained when the Actors received no social cueing (neutral information condition). Thus, Partners responded as if they had received explicit prior information about who would be called on to perform the Main action. These findings suggest that the social cues available within the Actors' Preparatory actions were perceived by the Partners in a totally implicit fashion. This was confirmed by the post-session interviews, which revealed that none of the participants were aware of variations occurring in the Actors or Partners' responses. Overall, these results support the idea that the perception of social intention from action kinematics relies on low-level mechanisms and does not necessarily involve conscious inferences (Gallagher, 2008). Thus, contrary to what was claimed until

recently (e.g., Jacob & Jeannerod, 2005; Jacob, 2013), the present study suggests that kinematics variations associated with social intention can be spontaneously perceived in others' voluntary motor actions when performed in a truly interactive social context. It furthermore modifies the planning of self-initiated actions.

The effect observed in the motor kinematics due to the social aspect of the task cannot be attributed to direct communication between participants because both the Actors and the Partners were consistently staring at the target-object on the table and remained silent throughout the experiment. This effect was also not associated with a change in the position of the wooden dowel on the central position at the end of the Preparatory action, as the location of the wooden dowel was carefully controlled and did not differ when it was placed for the Actors or the Partners, respectively. Similarly, the social effects on the motor performances were not related to changes in how the Actors reached the starting location after having transported the wooden dowel during the Preparatory action, since we found no variations in the kinematic patterns for this movement phase across conditions. Furthermore, it is also important to note that the effects of the Actors' Preparatory action on the Partners' performances cannot be interpreted in terms of spontaneous mimicry or direct matching of participants' performances (Becchio, Sartori, Bulgheroni & Castiello, 2008a; Liepelt, von Cramon & Brass, 2008; Chartrand & Bargh, 1999). Indeed, the effect of prior information on the Partners' Main action was opposite to the effect of prior information on the Actors' Preparatory action. Namely, when the Actors took a longer time to initiate their actions, the Partners had relatively short reaction times. Thus, and congruently with the results of the analyses performed on the Partners' kinematic patterns as a function of the characteristics of the Actors' movements, we suggest that the relevant cues for perceiving social intention from the Actors' motor actions were available within the spatio-temporal characteristics of

Preparatory actions. In agreement with this, a recent study performed by Lewkowicz, Quesque, Coello & Delevoye-Turrell (2015) showed that individuals are able to classify video clips presenting reach-to-grasp actions with a personal or social intention, although only the displacement of the hand is visible. Moreover, prediction reached chance-level when the video clips were normalized to control for reaction or movement time of the grasping action, suggesting that the ability to (implicitly) use motor deviants represents the key aspect of intuitive social interaction.

In conclusion, using an original sequential task, the present study shows that the social context can influence the way a reach-to-grasp action is performed with no clear meaning about its social consequences (Preparatory action). Observers can take advantage of these motor deviants to modulate their own action performances. Hence, we suggest that the detection of subtle kinematic variations of object-oriented movements performed in a social context can prime the perceiver to prepare for social interaction and anticipate appropriate motor responses, even in the absence of explicit access to the meaning of the kinematic variations. Future work is now needed to better understand how social context and motor expertise modulate the perception of motor deviants associated with social intention. An important question concerns for example the relationship between individual motor repertoires and the perception of motor deviants related to social intention. Another key question targets the effect of social constraints in competitive vs. cooperative situations. It would also be useful to evaluate whether the influence of a social context arises in non-predefined multi-agent communicative situations. All these issues open new avenues of research within the embodied approach of social cognition.

Avant-propos :

Étude 4 – Différences inter-individuelles dans la capacité à lire l'intention sociale depuis la cinématique

L'étude 3 suggère qu'il est possible de percevoir implicitement des informations relatives à l'intention sociale poursuivie par un individu à partir de la cinématique de ses mouvements. En effet, les résultats mettent en évidence une facilitation des participants à produire une action complémentaire à celle manifestée par un congénère lorsque ce dernier poursuit une intention sociale. Nous n'avons cependant, pour le moment, aucune information sur la capacité explicite des humains à accéder aux états mentaux d'autrui. À travers les expériences de l'étude 4, nous avons testé s'il était possible de catégoriser des mouvements d'atteinte similaires à ceux réalisés dans les trois premières études selon le type d'intention sociale poursuivi par l'Acteur. De courtes vidéos mettant en scène l'exécution d'*Actions préparatoires* réalisées avec une intention sociale ou avec une intention personnelle ont été présentées aux participants. Leur tâche était de catégoriser ces stimuli selon le type d'intention qu'ils pensaient être poursuivi par l'Acteur. Dans l'expérience 1, nous avons couplé cette tâche de catégorisation avec la passation de questionnaires de mentalisation. Considérant que les formes plus explicites de théorie de l'esprit émergent sur la base des interactions sensori-motrices réalisées avec d'autres individus, nous nous attendons à ce que les individus avec les meilleures performances de catégorisation soient également ceux qui obtiennent les plus hauts scores aux questionnaires de mentalisation. Dans l'expérience 2, nous avons cherché à valider le rôle déterminant des variations cinématiques des mouvements de l'Acteur pour permettre l'accès à ses intentions. Pour cela, nous avons contrôlé l'accès aux différents indices cinématiques en normalisant les temps de réaction et les temps de

mouvement des actions dans les vidéos présentées. Nous faisons l'hypothèse que plus l'accès aux variations cinématiques sera restreint, moins bonne sera la performance de catégorisation des participants.

Etude 4:

Individual differences in reading social intentions from motor deviants

Abstract

As social animals, it is crucial to understand others' intention. But is it possible to detect social intention in two actions that have the exact same motor goal? In the present study, we presented participants with video clips of an individual reaching for and grasping an object to either use it (personal trial) or to give his partner the opportunity to use it (social trial). In experiment 1, the ability of naïve participants to classify correctly social trials through simple observation of short video clips was tested. In addition, detection levels were analyzed as a function of individual scores in psychological questionnaires of motor imagery, visual imagery and social cognition. Results revealed that the between-participant heterogeneity in the ability to distinguish social from personal actions was predicted by the social skill abilities. A second experiment was then conducted to assess what predictive mechanism could contribute to the detection of social intention. Video clips were sliced and normalized to control for either the reaction times or/and the movement times of the grasping action. Tested in a second group of participants, results showed that the detection of social intention relies on the variation of both reaction time and movement time that are implicitly

perceived in the grasping action. The ability to use implicitly these motor deviants for action-outcome understanding would be the key to intuitive social interaction.

Introduction

Understanding what a conspecific is doing represents a crucial ability for our everyday social interactions. However, perceiving an action and understanding the reason that drives this behavior may arise from different processes (Spaulding, 2015). As highly social species, it is crucial for us to perceive others' mental states and to predict what they plan to do in order to adapt and coordinate our own behavior to the surrounding context (Hamilton, 2009; Sebanz & Knoblich, 2009). As such, our ability to understand the goal of others' actions relies on a variety of sources (Frith & Frith, 2006). For example, declarative knowledge (Fehr & Fischbacher, 2004) and indirect interaction (Singer et al., 2004) are indices that are used when judging the reason of others' behavior. Contextual cues, such as environmental and physical constraints of an action also help to detect the aim of observed actions (Brass, Schmitt, Spengler & Gergely, 2007; Stapel, Hunnius & Bekkering, 2012). However, experimental evidences now support the hypothesis that humans have the ability to predict the action-outcome goals on the basis of the observation of its early kinematics only (Knoblich & Fach, 2001; Sebanz & Shiffrar, 2009; Orliaguet, Viallon, Coello, & Kandel, 1996). Indeed, it has been shown that observers are sensitive to early differences in visual kinematics and can use them to discriminate between movements performed with different object-oriented motor intentions (Manera Becchio, Cavallo, Sartori, & Castiello, 2011; Méary, Chary, Palluel, & Orliaguet, 2005; Sartori, Becchio & Castiello, 2011). However, it is the case that most gestures are socially oriented: I can reach for a cup and place it on a table in order to use it myself, but often I will reach for an object to give it to my partner. The question that will be considered here is then: Can my partner detect in a predictive manner whether the cup that I am grasping for is for her or not, simply by observing my hand moving?

After considering the literature that discusses how intentions may shape movement kinematics, we will state the differences that are rarely made between motor and social intentions in experimental settings. More specifically, we will reveal the individual differences in the ability to detect social intention when simply observing the motor deviants contained within 3D movement kinematics.

Kinematic studies in humans have shown that different motor intentions can shape the spatio-temporal characteristics of a reach-to-grasp movement depending on the goal of the executed sequence (Marteniuk et al., 1987; Ansuini, Giosa, Turella, Altoè & Castiello, 2008, Armbrüster & Spikers, 2006; Naish, Reader, Houston-Price, Bremner & Holmes, 2013). For example, people tend to produce slower motor actions when grasping an object with the intention to place it accurately rather than with the intention to throw it (Louisdam, Orliaguet, & Coello, 1999; Marteniuk et al., 1987). In addition, Jacob and Jeannerod (2005) distinguished two types of intentions. The motor intention refers to the mental state that causes the execution of voluntary action (e.g. to put a glass on a table). However, the same motor intention could involve a conspecific (e.g. put the glass on a table for your child) or not (e.g. put the glass on the table to drink from it). This later level of description is referred to as the social intention that is, the intention to affect a conspecific's behavior. According to these same authors, only the motor intention influences the execution of an action, since the same spatial constraints could serve different social intentions. This is known in the literature as the Dr. Jekyll and Mr. Hyde paradox (Jacob & Jeannerod, 2005). Interestingly, recent studies have shade doubt on these affirmations by showing that specific changes in the kinematics of the arm and hand movements can be revealed when investigating the effects of the social context on the execution of motor sequences (Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli & Gentilucci, 2011a; Gianelli, Scorolli & Borghi, 2011; Innocenti, De Stefani, Bernardi,

Campione & Gentilucci, 2012; Scorolli, Miatton, Wheaton & Borghi, 2014). But more specifically, it has been suggested that when endorsing a social intention, humans tend to amplify the spatio-temporal parameters of their movements. When planned with a social intention in mind, a subject's hand tends to move with higher hand paths (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008; Quesque & Coello, 2014; Quesque, Lewkowicz, Delevoye-Turrell, & Coello, 2013), slower velocities (Becchio et al., 2008, Lewkowicz, Delevoye-Turrell, Bailly, Andry & Gaussier, 2013) and longer movement durations (Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli & Gentilucci, 2011b; Quesque & Coello, 2014 ; Quesque et al., 2013). From these variations in execution, it could then be possible for an observer to distinguish different social goals driving similar motor actions.

In the present contribution, we defined the kinematic deviances due to social intentions as the systematic difference between the kinematic features (e.g. movement time, peak velocity, peak height) of two executed movements that have the same motor constraints (e.g., start and stop position, object shape, target shape, object initial and final position) but executed for different social intents. The use of common kinematic features of movements is an important step for researchers to quantify accurately the deviances due to social intentions (Ansuini, Cavallo, Bertone & Becchio, 2014). Nonetheless, we underline that our definition of the kinematic deviance is not restricted to a specific parameter. Rather, we hypothesize that it is a mechanism that affects multiple components of the movement and its preparation. Thus, the expression of kinematic deviance in terms of specific kinematic features could vary depending of the type of action, the target object position and shape, and various other motor constraints. In other words, when changing the motor constraints of an action, one would also change its social deviance. Hence, to characterize the kinematic deviance due to social intention one needs to disentangle the multiple kinematic features to determine the potential

candidates. By controlling precisely the external constraints of executed movements in real-time (Lewkowicz & Delevoye-Turrell, 2015), it is possible to verify that the significant deviances of kinematic features are not due to specific motor constraints but rather to internal determinants (see also Ansuini, Cavallo, Bertone & Becchio, 2015), which would give scientific basis for a better understanding of the Dr. Jekyll and Mr. Hyde paradox (Jacob & Jeannerod, 2005). Whereas it has already been shown that the early deviants of kinematic features could be directly exploited to help detect the underlying intention of an observed action (Sartori, Becchio & Castiello, 2011; Lewkowicz et al., 2013), it is still unclear whether the sensitivity to kinematic deviances is in relationship with the motor expertise or the social skills of the external observer.

A number of recent studies have shown that motor training directly influences action observation (Casile & Giese, 2006; Hecht, Vogt & Prinz, 2001). Especially in the case of very skilled observers, for example, in sports (Abernethy & Zawi, 2007; Abernethy, Zawi & Jackson, 2008; Aglioti, Cesari, Romani & Urgesi, 2008), and artistic activity (Calvo-Merino et al., 2005, 2006), experts systematically outmatch novices in recognizing and predicting the outcome of observed action but also in detecting deceptive intentions (Cañal-Bruland & Schmidt, 2009; Jackson, Warren & Abernethy, 2006; Sebanz & Shiffrar, 2009). These results are in line with the hypothesis that common codes for perception and action (Hommel, Müesseler, Aschersleben & Prinz, 2001; Prinz, 1997) can be used to simulate observed actions and thus, gain a better prediction and understanding of motor outcome (Blakemore & Decety, 2001; Grush, 2004; Jeannerod, 2001; Uithol, van Rooij, Bekkering, & Pim Haselager, 2011; Wilson & Knoblich, 2005; Wolpert, Doya, & Kawato, 2003). In addition, within the framework of the mirror neuron system (Cattaneo & Rizzolatti, 2009), it has been claimed that the same mechanisms would be involved during the imagery of a motor act directed to an

object and the actual execution of that same motor act (e.g., Ehrsson, Geyer & Naito, 2003; Jeannerod & Decety, 1995; Decety & Grezes, 2006). The ability to detect social deviants should then be correlated to motor expertise and simulation abilities.

The processing of others' movements is also very important for communication and adaptive social behavior. Individuals who exhibit deficits in visual biological motion processing are also compromised on daily-life social perception (see Pavlova, 2012, for a review). When one interacts with another person, it is assumed implicitly that common thoughts are shared. Thus, in social contexts, we unconsciously spend time predicting the behavior of others on the basis of what we would do ourselves in the same situation. One may up to a certain extent try to place our own self within the other person's mind, beliefs and desires. This complex cognitive function is referred to as having a 'theory of mind' (Premack & Woodruff, 1978), taking an intentional stance (Dennett, 1987), or mentalizing (Frith, 1989). Mentalizing has been studied using a wide range of tasks including reading stories (Fletcher et al., 1995; Saxe & Kanwisher, 2003), looking at cartoons (Brunet, Sarfati, Hardy-Bayle & Decety, 2000; Gallagher et al., 2000) and watching simple animations (Castelli, Happe, Frith, & Frith, 2000). It has recently been proposed that during action observations the neural basis of the 'theory of mind' is more recruited when the observer is explicitly asked to interpret the scene in terms of high-level goals than it is when focusing on lower-level intentions (Van Overwalle & Baetens, 2009). In such a case, recognizing social deviants may be associated to the same mechanisms, which participate in the recognition process of body and face for social cognition.

In the current study, our goal was to test whether by maintaining the motor intention identical an observer is still able to dissociate between social and personal intentions in movements performed towards an object. After recording trials of actors performing social

and personal reach to grasp actions and verifying that the kinematics were indeed dissociable, we conducted two experiments of action observation in which the participants' task was to categorize trials as a function of their social scope. In Experiment 1, we were specifically interested in the individual differences that may be observed in the ability to read social intentions. In order to gain an insight in the psychological factors that may be involved in the capacity of participants to understand the social action-outcome, we used questionnaires to capture both social cognition and motor imagery abilities. In experiment 2, we probed the nature of the kinematic deviances of observed movements, which contributed to the categorizing of social and personal intentions. For this, we used post-recording treatments in order to control precisely for the amount of temporal information available within the movie clips. Through the alterations of specific properties of 3D motion kinematics, we were able to test the effects of a progressive normalization of deviances on the participants' ability to categorize the action as being personal or social.

Experiment 1: Inter individual differences to recognize social patterns

In this first study, we tested whether the ability to recognize social intention through the decoding of social deviants was related to motor imagery and/or social cognition abilities.

Materials and methods

Participants

Twenty-five healthy young adults (7 males; mean age: 24.7; SD: 3.0) participated in the experiment. All had normal or corrected-to-normal vision and had no prior knowledge of the experimental goals. They gave informed consent before participating in the experimental session that lasted approximately 30 minutes. The protocol received approval from the ethics committee for Human Sciences of the University of Lille3.

Apparatus and stimuli

Stimuli

To create the experimental material, we filmed two naïve adults seated at a table, facing each other, and participating in a short cooperative game. The game consisted in displacing a little wooden dowel (width 2 cm; height 4 cm) between the thumb and the index finger to different locations. Their sequential actions were time-locked to a series of broadcasted sounds. The first move of the game was always performed by the same member of the dyad (named here, the “actor”) and consisted in displacing the dowel from an initial

location to a central target. After this preparatory action, a subsequent main action was to be performed either by the actor (personal condition) or by the partner (social condition). Two blocks of 15 trials were performed: In one block, the actor performed all the preparatory and the main actions, the partner being just an observer. In the other block, the actor performed the preparatory actions and the main actions were always performed by the partner. Meanwhile, the actor's movements were recorded using a video camera (Logitech webcam model c270) to record the scene. In addition, 4 Oqus infrared cameras (Qualisys system) were used to record the upper-body kinematics. Five infrared reflective markers were placed on the index (base and tip), the thumb (tip), the wrist (scaphoid and pisiform) of the actor; one marker was placed at the top of the object. The calibration of the cameras provided the means to reach a standard deviation smaller than 0.2 mm, at a 200 Hz sampling rate.

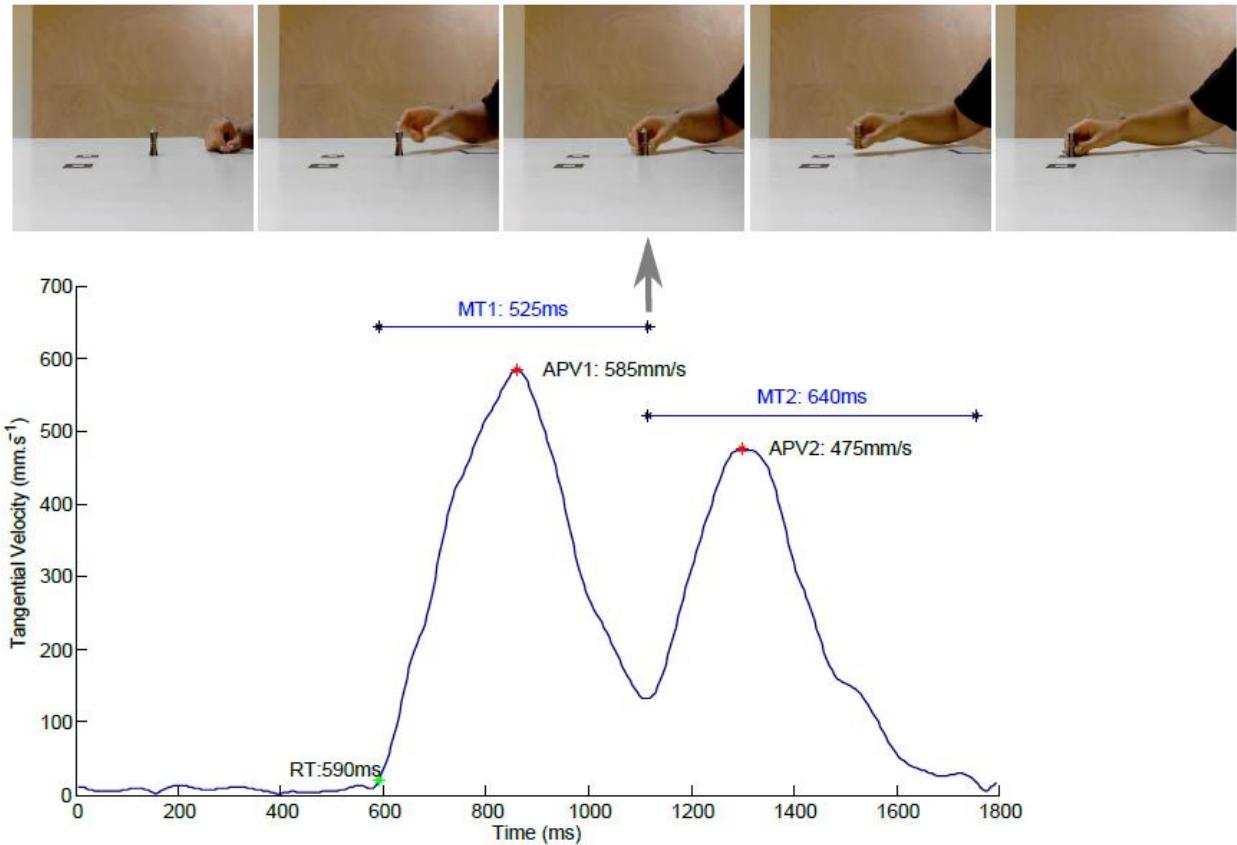


Figure 1. TOP: A typical example of the video stimuli that was used both in experiments 1 and 2 to test the role of motor deviants for the categorization of social and personal object-centered actions. One can note the neutral context that was used with the placement of 3D reflexive markers that provided us the means to verify the kinematic deviants between social and personal movements during the validation phase of the video database. BOTTOM: Velocity curves of the corresponding trial illustrating the double bell shaped profiles that are observed in the present reach to grasp task. Reaction times (RT in ms) and movement times of the first element of the sequence (MT of reach in ms) may have been used by the observers to dissociate social from personal actions.

A particular attention was taken to suppress all contextual information from the video clips (see Figure 1-top). Only the arm of the actor and the target object were framed within the video clips of the 30 preparatory actions. The video clips that were used as stimuli consisted in a sequential action of two motor elements (1) reach to grasp and (2) move to place. The video clips were cut exactly one frame after the actor finished placing the object. Movies were compressed with FFdshow codec (MJPEG) at 30 frames per second with a

screen resolution of 640*480 pixels. 3D kinematics were analyzed with RTMocap toolbox (Lewkowicz & Delevoye-Turrell, 2015). Positional data points were filtered using a dual fourth-order Butterworth low-pass filter ($f_c = 15$ Hz; forward and backward) and tangential 3D instantaneous velocities were calculated. A threshold of 20 mm.s⁻¹ was used to determine the onset of movement (RT). All velocity trajectories were bell shaped and consisted in two ‘bells’, the first corresponding to the reach to grasp element, the second being the move to place element of the preparatory action. The amplitude of peak velocity of the first element (APV1) was extracted using the local maxima (first zero-crossing of acceleration). The end of the first element was determined as the time of occurrence of the local minima (second zero-crossing of acceleration) between the first and the second element-peaks (see vertical arrow in figure 1). The duration of the first element (MT1) was calculated as the time interval between the onset and the end of the first element. The amplitude of the peak height of trajectories (APH1) was defined as the maximum z coordinate of the wrist measured in the grasping element and the lift to place element. APV2, MT2 and APH2 are the corresponding kinematic parameters described above but extracted from the second move to place element of the motor sequence. Table 1 presents the characteristics of the movement parameters that were measured, e.g., reaction time, movement time, peak wrist velocity, and height of hand trajectory. Figure 2 presents the scatterplot of amplitude of peak velocity against movement time in order to confirm none negligible proportions of the plots that are discriminative between social and personal trials. Using comparison to the median values, pre-analysis confirmed the possibility to dissociate personal from social trials on the basis of reaction time (RT), movement time (MT) and height of grasping phase (APH).

Table 1. Mean kinematic parameters of the preparatory action for both the personal and the social trials. For each parameter, the median values for the totality of the trials are reported and the frequency of trials superior to this value is specified in each condition. RT: reaction time; APV: amplitude of peak velocity; MT: movement time; APH: amplitude of peak hand height, for the first (1) reaching element or the second (2) grasping element. The asterisks indicate the parameters for which significant differences were found between the two distributions in the personal and the social conditions using the median test (* $p<0.05$; ** $p<0.01$, *** $p<0.001$).

	RT	APV1	APV2	MT1	MT2	APH1	APH2
	**	*	*	***	*	**	*
personal intention	616	582	525	440	508	58	63
social intention	702	547	457	478	545	60	65
Median values	665	572	487	457	533	59	64
Frequency of personal trials > median	4/15	10/15	5/15	3/15	5/15	4/15	5/15
Frequency of social trials > median	11/15	5/15	10/15	12/15	10/15	11/15	10/15

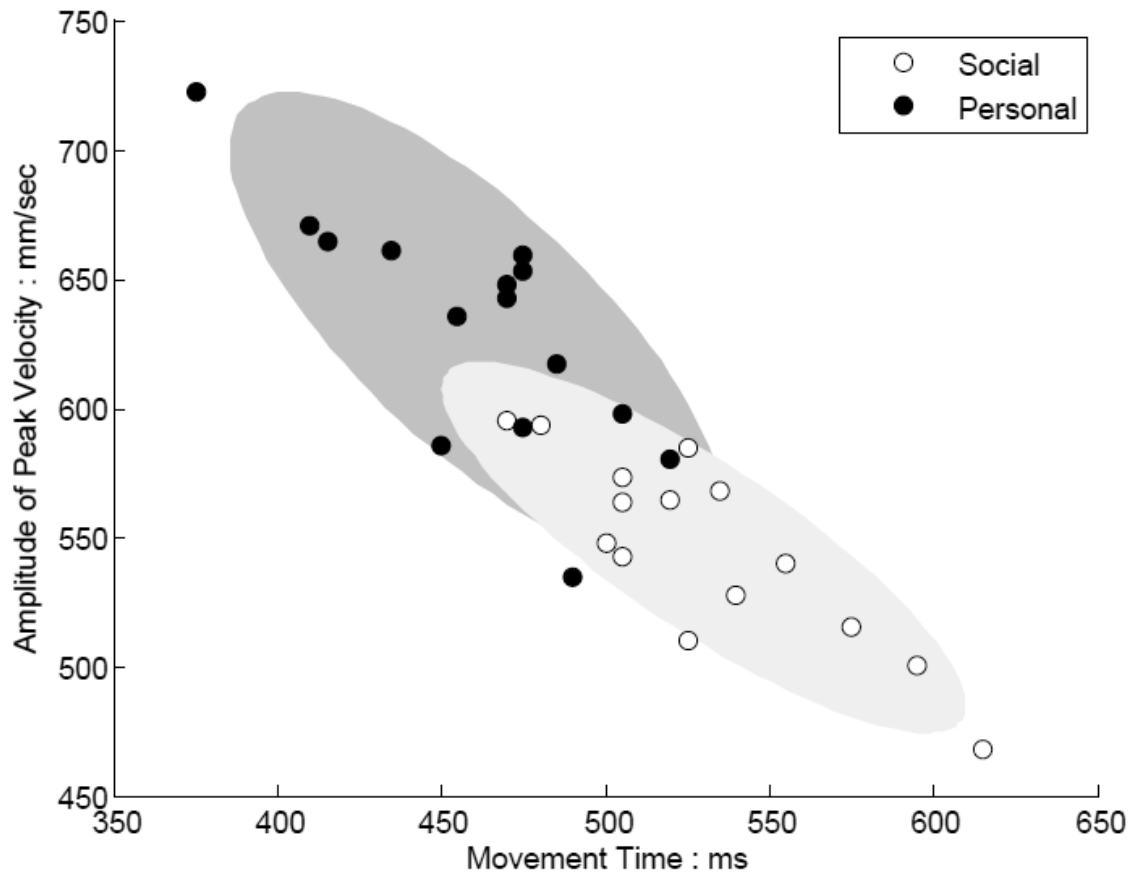


Figure 2. Kinematic deviances are presented with the amplitude of peak velocity plotted as a function of movement time. Scatterplots reveal none negligible proportions of the plots that are discriminative and thus, may be used to dissociate social from personal intention.

Individual evaluations of social and imagery sensitivity

The Reading the Mind in the Eyes Test, which will be referred to as the RME-test in the following sections (Baron-Cohen, Jolliffe, Mortimore & Robertson, 1997; Baron-Cohen, Wheelwright, Hill, Raste & Plumb, 2001) was designed to measure each individuals' sensitivity to social cues and in particular the participants' ability to understand others' complex mental states. This test has shown a high potential to distinguish an individual's tendency to attend to others' intentions in joint cognitive tasks (Ruys & Aarts, 2010). In the RME-test, participants were required to categorize eye-regions of 36 facial expressions by

selecting a mental state label that matched the perceived expression, selecting one out of the four terms proposed. In the present experiment, participants completed a French version of this test (Prevost, Carrier, Chowne, Zelkowitz, Joseph & Gold, 2013) and were encouraged to select the appropriate term as fast as possible. Overall, the more people attend to the intentions of others, the higher are their scores on the RME-test. We also administered a French version (Loison et al., 2013) of the revised second version (MIQ-RS, Gregg, Hall & Butler, 2010) of the Movement Imagery Questionnaire (MIQ-R, Hall & Martin, 1997). This questionnaire is a reliable measure of motor imagery that distinguishes kinesthetic motor imagery from visual motor imagery. Participants were required to perform and imagine daily life actions that were similar in the two subscales, involving both upper and lower limbs.

Procedure

Participants were seated at a table in a silent experimental box, facing the experimenter. They took part in a short cooperative game to get familiarized with the paradigm. These pre-test trials consisted in similar manipulative movements than that performed by the actor in the stimuli video. Participants performed 15 trials for which they were required to pick and place a wooden dowel at the center of the table for their own purpose and 15 trials for which the wooden dowel was picked and placed for the experimenter. After this familiarization phase, participants were instructed to watch and categorize previously recorded videos clips from the same two conditions. Participants had to categorize a total of 30 videos (15 social and 15 personal). The instructions before categorization were given orally as follow (“Is the actor placing the dowel for a personal use?” OR “Is the actor placing the dowel to give it to his partner?”).

The videos stimuli in the categorization task were displayed on a grey background on a laptop computer using the PsychToolbox for Matlab (Natick, MA). Before each trial, a white fixation cross appeared on the grey screen during a variable interval of 500-1000 msec. After each video presentation, as soon as the clip ended, a blank screen was shown during which participants were prompt to give their decision. They were instructed to categorize each movie clip as fast and as accurately as possible. The response keys were marked with tape placed directly on the azerty computer keyboard (“a” for social and “p” for personal). The response keys were counterbalanced across participants. No feedback was given during the experiment. Finally, the participants were required to complete the French version of the RME-test and the Movement Imagery Questionnaire – Revised. The order of presentation of the two tests was also counterbalanced across participants. After the entire completion of the experiment, participants were asked to comment on the general degree of confidence that they had in their answers in the categorization task. Finally, participants obtained a short debriefing period and were thanked for their participation.

Analysis

Response times were calculated as the time interval between the presentation of the last frame of the video and the participant’s key press. For the analyses of the amount of correct responses, it is to note that in our experiment the error in judging one kind of stimulus (e.g. social) was redundant with the correct judgment of the other kind of stimulus (e.g. personal). Consequently, the results were expressed in total percentage of correct responses (Bond & DePaulo, 2006). Scores for each category were compared to the reference constant, i.e., the random answer value of 0.50, with a single sample t-test. To test whether the classifications rates would entail any substantial individual differences in the perception of

social intention, we performed correlation analyses. We then checked whether the percentage of correct responses was correlated with the social cognition measure and with the motor and visual imagery measures, separately. Final score in the French version of the RME-test was computed on 34 items, excluding the items 13 and 23 from analysis as recommended (Prevost et al., 2013). Concerning the imagery measures, the two scores (kinesthetic ; visual) were calculated on a 7 points scale. All analyses were conducted two-tailed and the alpha level of significance was set to 0.05.

Results

Categorization performance and Response time

The results revealed that on average participants were able to categorize the underlying intention above chance level ($M = 65.7\%$, $SD = 15.8$ vs 50%), $t(24) = 4.980$, $p < .001$. There were no significant differences in the percentage of correct categorization for the personal intention ($M = 68\%$, $SD = 19.7$) and the social intention ($M = 63.4\%$, $SD = 19.8$), $t(24) = 0.95$, $p = .35$. Moreover, the results revealed no significant effects of the stimulus type on mean response times. Participants categorized the video clips presenting a personal intention as quickly ($M = 600$ ms, $SD = 0.39$) as the video clips presenting a social intention ($M = 570$ ms, $SD = 0.32$), $t(24) = 0.58$, $p = .58$.

Correlation with individual traits

On average, participants obtained a score of $M = 5.8$, $SD = 1.2$ in visual imagery and $M = 4.8$, $SD = 1.3$ in kinesthetic imagery as assessed by the Movement Imagery Questionnaire. The results revealed an absence of correlation with the percentage of correct categorization for both the visual imagery score ($R = .125$, $p = .551$) and the kinesthetic imagery score ($R = .194$, $p = .354$). The results of the RME-test revealed a mean score of 28.24, $SD = 3.5$. Our results showed that the RME-test scores were positively correlated with the percentage of correct categorization ($R = .677$, $p < .001$), indicating that a higher score in the RME-test is associated to a higher performance in the categorization task (see Figure 3). Concerning the degree of relationship between the questionnaires, the RME-test scores were related neither to the kinesthetic imagery scores ($R = .006$, $p = .975$) nor to the visual imagery scores ($R = .278$, $p = .178$). Finally, the scores on the two dimensions of the Movement Imagery Questionnaire were not correlated ($R = .132$, $p = .527$).

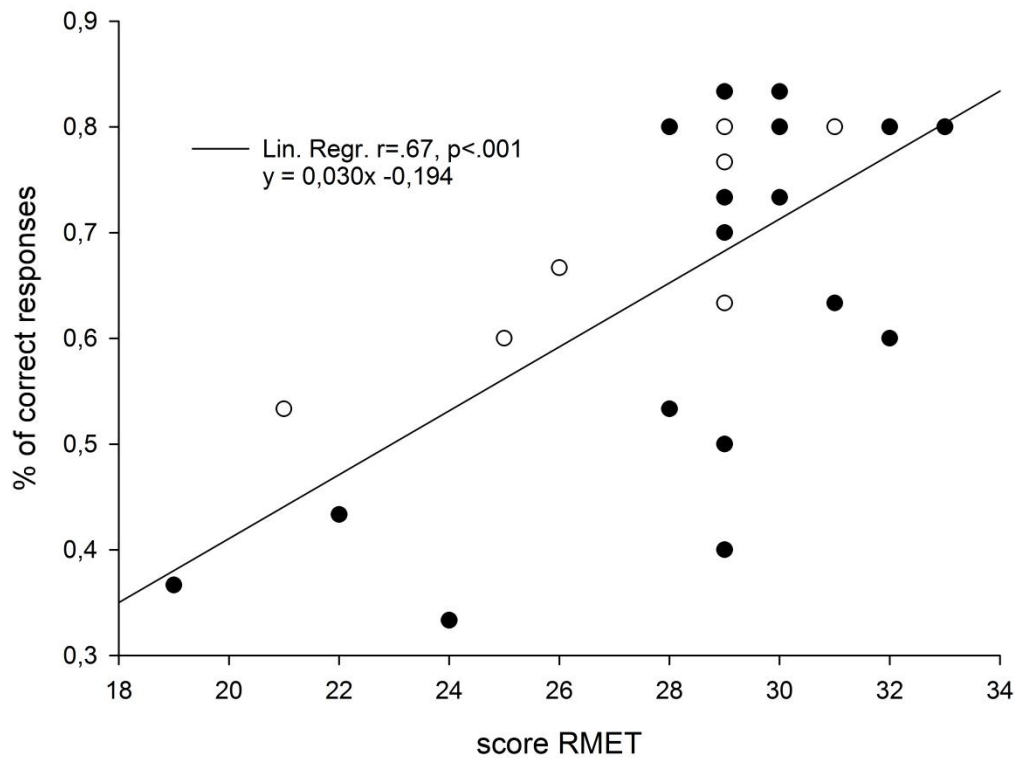


Figure 3. Graphical illustration of the correlation parameters that were obtained in Experiment 1 between the individual scores of the Read the Mind in the Eyes Test (RME-test), and the percentage of correct answers given in the categorization task. Black dots and white dots represent female and male participants, respectively.

Discussion

The aim of this experiment was to test for the individual differences that may be observed in the ability to read social intentions. Firstly, confronted to short video clips of “pick and place” moves, participants were able to categorize the intention (“social” vs. “personal”) of the actor above chance level. Given the effort made to produce stimuli presenting an absence of contextual information, this result confirms the idea that not only motor intention (Méary et al., 2005; Manera et al., 2011; Sartori et al., 2011; Lewkowicz et al., 2013) but also social intention can be inferred from the kinematics of a movement, as suggested by Ansuini, Cavallo, Bertone & Becchio (2015). Secondly, it is to note that not all

participants were equally talented in performing the task. Particularly, the ability of participants to discriminate between social and personal intentions was highly linked to the scores obtained in the social cognition test but was not related to the scores obtained in the motor imagery questionnaires. Such dissociation corroborates recent findings showing that sensitivity to use subtle cues in biological motion is linked to social but not to motor imagery measures (Miller & Saygin, 2013). More specifically as reported here, the authors showed that form cues correlated more with the social than with the imagery measures suggesting that even if social cognition and motor imagery predict sensitivity to biological motion, these skills tap into different aspects of perception. In our case, the results comfort the idea that social abilities help detect modulations of trajectories even in very simple and fast motor actions such as a reach to grasp task performed at natural speed.

Experiment 1, gave us the opportunity to assess participants' ability to perceive social intentions from motor actions. However, it did not give us insights on the actual perceptual cues used by participants to solve the decision task. Consequently, in Experiment 2, we focused on the question of "how" participants could perceive social intentions from motor actions. For this purpose, we used post-recording modifications of videos clips in order to determine which crucial aspects of the kinematic deviants were relevant for participants in making their categorization decision. Finally, during the debriefing sessions of Experiment 1 the vast majority of participants reported that they felt as if they responded randomly in the categorization task, reporting a very low degree of confidence in their responses. However, due to the absence of quantitative measures of the meta-cognitive judgments from the participants, it was not possible to draw straight conclusions. Experiment 2 gave the opportunity to investigate this point more rigorously by obtaining systematic auto-evaluation of metacognitive knowledge through the use of analogical-scales.

Experiment 2: content information to recognize social patterns

This study was conducted to assess whether participants could distinguish between social and personal movements even after the specific properties of the 3D motor kinematics were flattened out.

Materials and methods

Participants

Twenty-three healthy young adults (6 males; mean age: 25.8; SD: 5.0) participated in the second experiment. All had normal or corrected-to-normal vision and had no prior knowledge of the experimental goals. These participants did not take part in Experiment 1 and gave informed consent before participating in the experimental session that lasted approximately 20 minutes. All participants completed in a previous session the French version of the RME-test (Prevost et al., 2013) and only those who had a minimal score of 27 (corresponding to the French median score) were selected to take part in the following experiment. The protocol received approval from the ethics committee for Human Sciences of the University of Lille3.

Apparatus and stimuli

In this experiment, 2-step actions were recorded from a different actor but following the same design as in experiment 1 in order to generate new stimuli videos. Table 2 presents the characteristics of actions parameters in the personal and social condition. As expected, significant differences were obtained in the 3D motion kinematics between personal and social trials for many motor parameters and especially those that will be manipulated, i.e., reaction time (RT) and movement time of the first element of the motor sequence (MT1).

Table 2. Mean kinematic parameters of the preparatory action for both the personal and the social trials. For each parameter, the median values for all trials are reported and the frequency of trials superior to this value is specified in each condition. RT: reaction time; APV: amplitude of peak velocity; MT: movement time; APH: amplitude of peak hand height for the first (1) reaching element or the second (2) grasping element. The asterisks indicate the parameters for which significant differences were found between the two distributions in the personal and the social conditions using the median test (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

	RT	APV1	APV2	MT1	MT2	APH1	APH2
	*		*	**			**
personal							
intention	395	590	529	417	501	58	58
social intention	438	618	487	451	475	63	65
Median values	408	599	509	438	485	61	63
Frequency of personal trials > median	5/15	9/15	11/15	4/15	9/15	6/15	4/15
Frequency of social trials > median	10/15	6/15	5/15	11/15	7/15	9/15	11/15

In order to control for the amount of temporal and kinematic information available to participants, we used post-recording modification of the videos. This manipulation led to creation of three types of stimuli. Indeed, depending on the condition, the stimuli that were displayed could be the original video clips (RT+MT1 deviant), video clips normalized according to reaction times (MT1 deviant) or video clips normalized according to the end of the grasping action (No deviant).

The modification of each video clip was achieved on-line as follows. First, the mean of the parameters that needed to be homogenized was calculated across all trials (social and personal). Second, the video clips were displayed at an overall refreshment rate so that the display time of this parameter corresponded to the mean pre-determined value. For example, in the MT1 deviant condition, the parameter that needed to be homogenized was the Reaction Time. Thus, using the kinematic data, a deviance ratio was calculated for the section of the video clip corresponding to the overall rate at which the Reaction Time section of the video should be presented in order to match the mean pre-determined value. We then interpolated the video frames (30hz) with the true refreshment rate of the screen (60hz) and replaced each video frame accordingly to the deviance ratio scaled to this final refreshment rate. In other words, the modifications brought to the duration of each video clip was spread out through the successive frames rather than being performed through an abrupt modification a given section of the video (e.g. by removing a frame). This manipulation gave us the opportunity to maintain the majority of the biological content of each movement.

Except for the modifications brought to the videos, the experimental design was identical to the one used in Experiment 1. In addition, analogical scales (10-cm long lines coding for “chance level” to the far left and “high confidence” to the far right) were included

at the end of each trial in order to gain information about the metacognitive knowledge that participants' possessed on their self-evaluation performances.

Procedure

Participants were seated at a table in a silent experimental box and had to perform the categorization task with the same instructions as in Experiment 1. They categorized the three sets of videos in three distinct sessions that were completed in a random order (counter-balanced across participants). After each session, they were asked to auto-evaluate the trust they had in their present classification rate on analogical scales.

Analysis

Mean percentages of correct responses, mean response times and mean self-evaluation scores were calculated for each condition and submitted to a repeated-measure ANOVA with condition (RT+MT1 deviant, MT1 deviant, No deviant) as within factors. The post hoc Bonferroni test was used when needed. We also conducted sub-analyses for the percentages of correct responses: scores for each category were compared to the reference constant, i.e., the random answer value of 0.50, using a single sample t-test. All analyses were conducted two-tailed and the alpha level of significance was set to 0.05.

Results

A repeated measures ANOVA revealed an effect of video type ($F(1,22)= 3.02, p=.05$) on the percentage of correct categorization. Post hoc contrast analysis revealed a significant higher rate of correct judgments in the natural condition ($M =57.5\%$, $SD =10$) compared to the RT+MT1 deviant condition ($M =51.9\%$, $SD =10$; $t=2.32, p<.05$). Furthermore, the performances in the MT1 deviant condition were located in the middle range ($M =54.3\%$, $SD =08$) not differing statistically from the two other conditions ($t= -0.22, p=.83$), suggesting a progressive decrease across the three experimental conditions. Two-sided t tests comparing performances against chance level (50%) in the categorization task revealed that participants were significantly above chance in two of the three conditions (see Figure 4). More specifically, participants were able to categorize the underlying intention above chance level when videos were presented in the RT+MT1 deviant condition ($t(22)=3.6, p<.01$) and in the MT1 deviant condition ($t(22)=2.4, p<.05$). However, they were not able to respond above chance level when videos were presented in the No deviant condition ($t(22)=0.9, p=.37$).

Concerning response times, we found no significant effects of video type ($F(1,22)= 2.19, p=.15$). Furthermore, the participants' responses on the analogical scales used to evaluate metacognitive knowledge about performance self-assessment did not differ between conditions ($F(2,44)= 0.02, p=.98$). With an overall mean of 68%, these observations indicate that participants found the task feasible but did not explicitly judge that a certain type of video was harder to categorize than another.

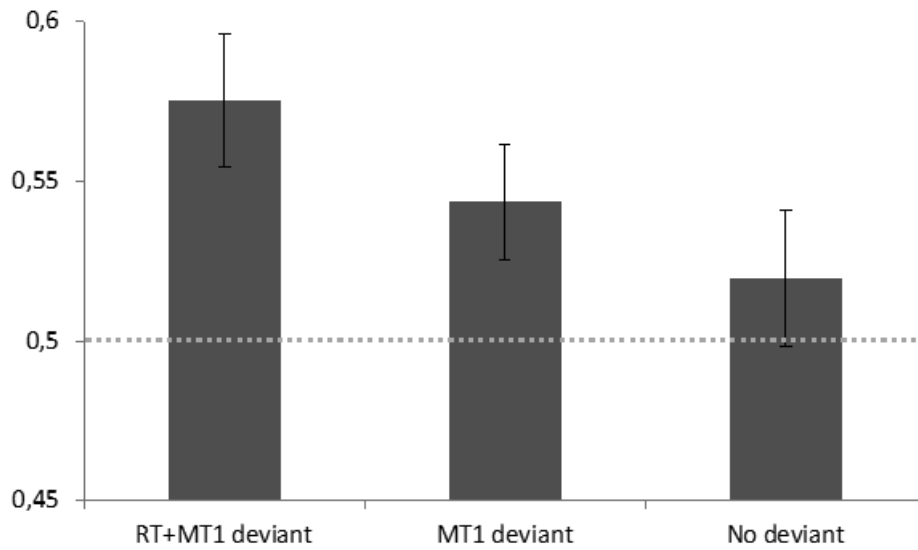


Figure 4. Mean percentage of correct categorization for the three experimental conditions with standard errors (bars). Note that when post-treatment of the videos were performed to normalize both reaction times (RT in ms) and the movement times of the first reach element of the sequence (MT1 in ms), participants were not able to categorize the social intention of the visual kinematics above chance level (illustrated here by the gray dotted horizontal line).

Discussion

The driving question in the second study was to replicate those findings presented in Experiment 1 and assess to what extent kinematic deviants may be used to discriminate social intention in actions that have an exact same motor goal. As in study 1, participants were thus presented with short video clips and were asked to categorize the social intention of the actor. However, these video clips contained different amounts of informative deviants as the videos could be totally informative (original videos as in Experiment 1), partially informative (videos were normalized to reaction times) or none informative (videos were normalized to the end of the grasping action). Using video clips of a different naïve actor, we replicated here the results reported in Experiment 1: individuals are able to distinguish between social intention and

personal intention through the simple observation of motor kinematics. The fact that the overall categorization performance in the second study was lower than that seen in the first study could be due to the present of fewer kinematic deviances in the stimuli material. It is the case that when comparing trials in the social and the personal conditions, the kinematic analyses revealed more differences in Experiment 1 than in Experiment 2. It is true that in daily social interactions, the actions of certain individuals are easier “to read” than others. This situation – that we all have experienced, is reflected here by the fact that the actor who participated in Experiment 2 had kinematic variances that were less marked than the one participating in Experiment 1. Thus, our findings suggest that the kinematic signature of social intention is difficult to detect within a unique individual. Nevertheless, even if the amount of kinematic information was less present in Experiment 2, we were still able to cancel out the participants’ ability to read social intention through the modification of the kinematic features. Hence, social intention – even if weak, is contained within the kinematic variances of body movement.

The second important result that confirmed our initial hypothesis of the importance of motor deviants for intention reading was that the percentage of correct identification was proportional to the amount of deviants contained within motor kinematics. The original clips were better categorized than those stimuli that were partially normalized, suggesting that the categorical decisions were based on a spatio-temporal integration of that information contained within the actor’s movements. By asking participants to use analogical scales to self-evaluate performance levels, we furthermore showed that performance levels are not dependent on an explicit conscious decision process. Indeed, even if the percentage of correction identification was significantly affected by the deterioration of the video content, the participants’ metacognitive judgment was not. Participants did not explicitly detect

differences in the informative values of the video clips and furthermore, did not judge their performance in the categorization task as being better or worse as a function of the informative content of the videos. Overall, these findings reveal the implicit nature of motor deviants to facilitate social interaction and confirm previous results found in the social literature suggesting that contextual information modulates social behaviors outside of awareness (Knoblich & Sebanz, 2008).

General Discussion

Previous behavioral studies have revealed that the context in which object-oriented actions take place and their relevance for human interactions can affect the way very simple actions are executed (Ferri et al., 2011a; Gianelli et al., 2011; Innocenti et al., 2012; Scorolli et al., 2014). In the present contribution, we were interested in assessing the effects of social context on the temporal and the spatial parameters of hand trajectory in the basic action of reaching for and grasping an object, either to move it for self directed purposes (personal intention) or for the use of the object by a partner (social intention). Our question was the following: Could a naïve observer of the scene detect that the object was going to be reached with a social intention? What in the behavioral dynamics could be used as social cues? This experimental situation is very similar to that observed in daily experiences for which many of our interactions with conspecifics are not conveyed through language. For instance, it has been shown that both structural and dynamic information of body movement through space and time are taken into account for the recognition of point light-display of moving humans (Troje, Westhoff & Lavrov, 2005), or for the recognition of another's emotions when the facial expression is not visible (Meeren, van Heijnsbergen & de Gelder, 2005; Atkinson,

Dittrich, Gemmell & Young, 2004). Likewise, in the present contribution, we showed that it is possible for a naïve observer to understand social intention of individuals performing an object-oriented motor action.

Movies were taken from a situation in which a participant picked up and placed an object knowing in advance whether herself or a partner will perform the next action in the sequence. With this method, we created stimuli in which kinematic variants (reaction time, movement time and trajectory height) were the only factor conveying social meaning. Even though the kinematic variations due to social intention were small (a few millimeters within a few tens of milliseconds), motor deviants were present in our trajectories in a very repetitive and distinctive way (see Figure 2) confirming other experimental results reported in social oriented tasks (Becchio et al., 2008; Quesque et al., 2013). Here, we confirm in two different sets of actors that human observers are able to exploit these very small kinematic deviances to discriminate the social intention above chance level.

In experiment 1, we focused on the personal determinants, which could explain inter individual differences in the ability to read the social intention of an action. We thus hypothesized that intention reading would be associated to an individual's competence to either infer complex mental states to others or to use motor imagery to predict motor outcome from movement kinematics. We only found a positive correlation with the social skill as it was previously reported with biological motion processing (Miller & Saygin, 2013). The existence of a close relation between social abilities and the perception of social intention is not surprising as such. Whereas healthy adults are able to perceive intentions (Blakemore & Decety, 2001; Runeson & Frykholm, 1983) and emotions from point-light displays (Dittrich, Troscianko, Lea & Morgan, 1996; Grezes, Pichon, & De Gelder, 2007; Pollick, Paterson, Bruderlin & Sanford, 2001; Atkinson et al., 2004), this ability seems to be clearly impaired in

patients showing deficits in social interactions such as in autism (Blake, Turner, Smoski, Pozdol, & Stone, 2003; Cook, Saygin, Swain & Blakemore, 2009; Parron et al., 2008; Centelles, Assaiante, Etchegoyhen, Bouvard & Schmitz, 2012; Freitag et al., 2008) and schizophrenia (Kim, Doop, Blake & Park, 2005; Kim, Park & Blake, 2011). The question that remains is then why does the correct discrimination of social intention not correlate with the motor imagery ability of the observer? We found that increased ability in motor imagery does not in itself help participants to understand correctly the social intention of the movement. One possible interpretation is that the motor imagery questionnaire probes more heavily the explicit processing of motor activity (e.g., goals, conscious monitoring) rather than the implicit sensitivity to subtle kinematic variations.

In experiment 2, we focused on the hypothesis according to which observers may be able to read the social intention through the exploitation of the kinematic deviances between two movements executed with the same motor intention but different social intention. With post-recording treatments, we impoverished the temporal aspects of visual kinematics contained within the video clips to cancel out the ability to read social intention, confirming the central role of these temporal deviants in predicting social outcome. It is now generally accepted that when we execute a movement, we predict the sensory consequences of that movement through generative or forward models (Ghahramani & Jordan, 1995; Wolpert, Doya & Kawato, 2003). These predictions can then be used to refine motor control problems induced by delayed feedback and sensory noise, but can also play a role to determine the most likely outcome of an observed action (Kilner, Friston & Frith, 2007). It has recently been suggested that a similar system can be used to understand others mental states (Oztop et al., 2005) and more specifically intentions (Ansuini et al., 2015). The results presented here confirm this hypothesis by showing that without temporal deviants, individuals

lose the ability to categorize social outcome. These findings indicate that predictive timing may also be the key to the ability of decoding social intention through the observation of motor kinematics. Interestingly, break points were also relevant: reaction time normalization (in MT1 deviant condition) was here shown to also decrease categorization accuracy. This is congruent with previous studies that have shown that individuals are able to infer the subjective confidence of another person simply through the observation of reaction times (Patel, Fleming & Kilner, 2012). Hence, those cognitive states that are based on predictive temporal properties may be correlated to social skills. Future studies need now to generalize these ideas and confirm that social reading is dependent on the accumulation of prediction errors, i.e. not only on the when but also on the how long of an on-flowing action sequence. Here we suggest that this would be done through the multi-integration of temporal deviants within a bilateral interaction of top-down and bottom up processes (see also Hillebrandt, Friston & Blakemore, 2014 for a neuro-anatomical account of this perspective).

It is the case that studies have reported gender effects related to social reading (Alaerts, Nackaerts, Meyns, Swinnen & Wenderoth, 2011; Sokolov, Krüger, Enck, Krägeloh-Mann, & Pavlova, 2011). Our results could suffer from the fact that a greater number of female individuals participated in the study. However, the gender main effect was none significant with the male participants performing at similar levels than the female participants both in the RME-test and in the categorization task (see Figure 3). Furthermore, the tendency for woman to do better than men in the RME-test was significantly true in the first version of the test (Baron-Cohen et al., 1997) but this was only marginally the case in the second version of the test (Baron-Cohen et al., 2001), which is the one we used. Finally, recent studies assessing the gender question have shown that men even sometimes do better than woman, e.g., in tasks using point-light displays to recognize human locomotion (Krüger, Sokolov,

Enck, Krägeloh-Mann & Pavlova, 2013). Hence, our results indicate that individual characteristics are more valuable to predict within gender abilities than the general gender property itself. They are novel and confirm the usefulness of RME-test for predicting individual performances in (1) the recognition of body language (Alaerts et al., 2011; Miller & Saygin, 2013) and (2) the ability to detect other's intention through body movements (Ruys & Aarts, 2010), whether that person be a man or a woman. A second point to note is the importance in future studies to assess whether the results presented here can be generalized to more ecological tasks. Indeed, the method presented here using video clips could be further applied to create experimental situations at second-person perspective including, for instance, two participants performing a reach to grasp task in a real interactive situation (Lewkowicz & Delevoye-Turrell, 2015). Furthermore, demonstrating that similar patterns of results are obtained when not only two but multiple intentional possibilities are presented would provide more ecological validity for the social abilities reported in the present study (see Ohbi, 2012).

In conclusion, the present study reveals that the ability to implicitly use motor deviants from observed object-directed actions represents the crucial factor for detecting social intention. Furthermore, this ability seems to depend on individual social cognition skills. Implicit judgments are often considered as intuitive. As such, intuition has been defined in the field of human robotics as our ability for direct knowledge, for immediate insight without explicit reasoning. Intuitive judgments are more or less accessible to individuals depending on a number of factors (e.g., physical salience, emotional and motivational states, Kahneman, 2003). In the present study, we suggest that an important aspect of intuitive interaction is the power to detect the contained information within the temporal aspects of body movements to prime the social expectancy of an observer.

DISCUSSION

*« La communication ou la compréhension des gestes provient de la réciprocité
de mes intentions et des gestes des autres, de mes gestes et des intentions
perceptibles dans le comportement d'autres personnes. C'est comme si
les intentions d'autrui habitaient mon corps et les miennes le sien »*

Merleau-Ponty, *Phénoménologie de la perception*, 1945

1. Rappel des objectifs et synthèse des résultats

Cette thèse s'inscrit dans une approche incarnée de la cognition sociale, selon laquelle la capacité à comprendre les états mentaux d'autres individus ne nécessite aucune inférence mais repose sur l'expérience immédiate des informations sensori-motrices lors d'interactions sociales (Spaulding, 2012). Comme nous l'avons détaillé en introduction, différents théoriciens, dont certains adhèrent pourtant à une conception incarnée de la cognition, ont énoncé d'importantes limites liées à l'approche incarnée de la cognition sociale pour rendre compte des capacités humaines de mentalisation (de Vignemont & Haggard, 2008 ; De Jaegher & Di Paolo, 2007 ; Jacob & Jeannerod, 2005 ; Jeannerod, 2006 ; Goldman & De Vignemont, 2009). Classiquement, il est considéré que cette approche peut rendre compte de certains phénomènes dit de « bas niveaux » de mind-reading, comme la prédiction d'intentions motrices ou la compréhension des émotions manifestées par autrui, mais qu'elle ne peut pas expliquer des phénomènes dit de « haut niveaux » comme l'inférence d'intentions sociales, puisqu'il n'existe pas de relations systématiques entre ces dernières et les systèmes de la perception et de l'action. L'objectif principal de ce travail était d'évaluer expérimentalement la capacité de l'humain à accéder spontanément aux états-mentaux d'autrui, et en particulier aux états-mentaux de « haut-niveaux » que sont les intentions sociales, sur la base des processus perceptifs et moteurs. Pour cela, deux conditions devaient

être remplies. Tout d'abord, il fallait qu'il existe des altérations dans l'exécution des actions motrices volontaires selon l'intention sociale envisagée. Ensuite, il était également nécessaire que ces altérations soient perceptivement détectables et cognitivement interprétables en situation d'interaction sociale.

Dans une première étude (étude 1), nous avons étudié comment l'interaction avec une autre personne pouvait influencer l'exécution d'actions motrices volontaires. Tout d'abord, il ne semble pas que le contexte social seul joue un rôle et que le simple fait d'être observé puisse affecter la réalisation d'actes moteurs finalisés. En effet, aucune différence n'a été observée au niveau de la cinématique des mouvements réalisés en l'absence ou en présence de l'expérimentateur. Ce résultat est en accord avec de précédents travaux (Becchio et al., 2008a; Georgiou et al., 2007; Vesper, Soutschek, & Schubö, 2009) soutenant l'idée qu'une interaction avec un autre individu est nécessaire pour observer des déformations cinématiques dans les actions réalisées, contrastant de ce fait avec les situations de contexte social passif (Zajonc, 1965). Toutefois, les données de l'étude 1 doivent être nuancées puisque nous avons observé une diminution de l'accélération et du jerk des mouvements lorsque ces derniers sont réalisés dans un espace directement accessible par d'autres individus. Ainsi, le simple fait d'agir à proximité d'un partenaire - même si celui-ci est passif - peut entraîner une modification des caractéristiques cinématiques des actions motrices volontaires en vue de les rendre plus fluides. Enfin, en comparant dans nos expériences les essais au cours desquels les participants plaçaient le totem au centre de la table (Action préparatoire) pour eux aux essais où ils le plaçaient pour leur partenaire, il a été possible de montrer que la cinématique des mouvements d'atteinte est affectée par l'intention sociale. Nous avons ainsi observé que lorsqu'une action est produite « pour autrui », ses caractéristiques cinématiques sont exagérées en comparaison au même mouvement réalisé pour soi-même. Précisément, et

confirmant des observations antérieures (Becchio et al., 2008a), la présence d'intention sociale induit une augmentation des temps de réaction et des temps de mouvement, ainsi qu'une trajectoire plus haute. Notre étude se différencie des précédents travaux antérieurs s'intéressant à l'influence de l'intention sociale sur la production des mouvements volontaires (Becchio et al., 2008a ; Ferri et al., 2011b ; Lewkowicz et al., 2013), et ceci sur deux points méthodologiques majeurs. Tout d'abord, nous avons veillé à ce que différentes intentions sociales puissent être mises en jeu en maintenant constant l'intention motrice afin de neutraliser toute influence sur les performances des contraintes physiques liées à l'objectif des actions motrices. Par ailleurs, l'effet de l'intention sociale est étudié sur la réalisation d'une action préparatoire, soumise à aucune contrainte spatio-temporelle particulière, et neutre pour le participant qui effectue la tâche. L'utilisation d'un paradigme tout à fait original a ainsi permis de tester l'effet de l'intention sociale sur la motricité en maintenant constants les paramètres spatio-temporel de la tâche, ainsi que les attentes des participants pour cette action (nous montrons notamment dans l'étude 4 que, bien que les participants n'en ont pas conscience, ils possèdent des connaissances implicites des patterns cinématiques associés aux intentions sociales, et qu'ils sont capables de les mobiliser pour effectuer une catégorisation explicite des différents profils cinématiques).

Au cours des différentes études, nous avons interprété l'exagération des paramètres cinématiques observée lors de l'exécution d'actions associées à une intention sociale comme étant la manifestation d'une stratégie communicative implicite (Sartori et al., 2009). De précédents travaux ont effectivement montré une tendance des participants à exagérer l'amplitude de leurs mouvements de manipulation d'objets lorsqu'ils poursuivent le but explicite de transmettre des informations à propos de cet objet à autrui (Hermsdörfer et al., 2006, 2012). Le fait que ces variations surviennent sur la dimension verticale (hauteur de la

trajectoire) semble indiquer que le regard du partenaire joue un rôle déterminant dans la construction des trajectoires en contexte social. En effet, il a été démontré qu'en situation d'interaction sociale, le regard d'autrui revêt une importance capitale (Argyle & Cook, 1976; Becchio et al., 2008 ; Kleinke, 1986 ; Langton et al., 2000). D'autre part, la direction du regard a été identifiée comme pouvant influencer l'exécution d'actions motrices en contexte sociale (Ferri et al., 2011a ; Innocenti et al., 2012 ; Scorolli et al., 2014). Ainsi, une hypothèse que l'on peut formuler est qu'en situation d'interaction sociale, les trajectoires motrices seraient programmées en prenant en compte deux cibles spatiales : l'objet à saisir et les yeux du partenaire (Diedrichsen et al., 2004 ; Howard & Tipper, 1997). Afin d'éprouver cette hypothèse, nous avons manipulé expérimentalement la hauteur des yeux du partenaire au sein de l'étude 2. Les résultats mettent en évidence l'existence d'un lien entre les déformations cinématiques observées sur le plan vertical et la position des yeux du partenaire : les trajectoires motrices montraient une courbure plus importante sur le plan vertical quand les yeux du partenaire étaient plus hauts. Toutefois, cet effet ne semble pas être limité aux conditions où les productions motrices dépendent d'une intention sociale. Bien que la présence d'une intention sociale majore les effets, on observe une influence de la hauteur des yeux du partenaire sur la trajectoire des mouvements même en présence d'intention personnelle. Ces données valident l'importance que revêt le regard d'autrui en situation d'interaction sociale et montrent que le contexte social joue sur les performances motrices indépendamment de la volonté d'interagir ou non. Il est à noter que puisque les variations cinématiques observées engendrent un coût énergétique supplémentaire et qu'elles ne semblent pas entraîner de bénéfices d'un point de vue individuel, nous faisons l'hypothèse qu'elles sont profitables d'un point de vue interindividuel.

Confirmant cette hypothèse, l'étude 3 a mis en évidence une facilitation des participants à agir après la production du mouvement de leur partenaire lorsque celui-ci était socialement dirigé plutôt que lorsqu'il était réalisé en l'absence d'intention sociale. Puisqu'aucun participant n'a rapporté percevoir de variations parmi les comportements de l'autre partenaire du binôme, ces résultats suggèrent l'existence d'une perception implicite des informations relatives à l'intention sociale d'un individu en situation d'interaction. Précisément, en contexte social, un observateur anticiperait spontanément les intentions de son partenaire à partir de la cinématique de ses mouvements et, sur la base de cette perception directe, pourrait ainsi réaliser une réponse motrice adaptée et de ce fait optimiser les interactions motrices. Ce résultat est la première démonstration de l'existence d'une capacité de lecture d'intention sociale chez l'humain. Comme l'avait précisé Obhi (2012), dans les études s'intéressant à la lecture d'intention, les participants ont classiquement pour tâche de catégoriser des vidéos selon les intentions qu'ils attribuent à l'acteur (Manera et al., 2011 ; Sartori et al., 2011). Cependant, avec ce type de paradigme, les participants doivent discriminer des mouvements afin de les classer explicitement sur la base de labels qui leur sont initialement proposés. Si l'on peut ainsi acquérir des informations sur la performance des participants à correctement catégoriser les actions qui leur sont présentées, rien n'est dit sur leur capacité à spontanément pouvoir accéder à l'intention d'autrui. Dans notre étude, les participants n'avaient aucune tâche explicite de reconnaissance à réaliser. Cependant nos résultats montrent l'existence d'une inférence spontanée de l'intention sociale de la personne observée, à partir de l'observation de ses productions motrices. Le comportement des observateurs était en effet facilité quand ces derniers agissaient après un mouvement préparatoire socialement déterminé.

Bien que le paradigme « à la seconde personne » utilisé dans l'étude 3 présente les avantages précédemment discutés, il possède également certains inconvénients, parmi lesquels un contrôle restreint des informations accessibles aux participants. En effet, on pourrait imaginer que l'intention sociale associée à l'exécution d'une action motrice influence non seulement la cinématique des mouvements finalisés, mais également l'attitude général de l'acteur (posture, mimique, respiration...). L'étude 4 vient ainsi compléter les résultats précédents et invalider cette hypothèse en proposant une tâche explicite de catégorisation de vidéos mettant en scène l'exécution d'Actions préparatoires uniquement. En contrôlant l'accès aux indices cinématiques accessibles aux participants dans les vidéos présentées, nous avons pu confirmer le rôle déterminant que ces indices occupent dans la capacité des observateurs à inférer correctement les intentions associées à la réalisation des actions finalisées. Par ailleurs, les résultats de cette dernière étude mettent également en évidence l'existence d'un lien fort entre les performances des participants à correctement catégoriser les actions motrices qui leurs sont présentées, et qui varient selon l'intention sociale de l'acteur, et leurs performances à la tâche explicite de mentalisation qu'est le test RME (Baron-Cohen et al., 2001).

A travers les différentes études de cette thèse, il a ainsi été identifié, à plusieurs reprises (études 1, 2 et 3), une capacité des individus à moduler la cinématique de leurs actions motrices dirigées vers les objets lorsqu'ils agissaient à proximité d'autrui et, par ailleurs, à en exagérer les caractéristiques spatio-temporelles lorsqu'ils poursuivent une intention sociale. De plus, nous avons observé une tendance à prendre en compte les caractéristiques corporelles des autres personnes lors de l'exécution d'actions motrices en contexte social, ce que nous avons interprété comme la probable conséquence de l'intégration d'une dimension communicative implicite. Enfin, nous avons également pu montrer qu'il est

possible pour un observateur d'accéder aux intentions sociales d'autrui sur la base de la simple observation des propriétés spatio-temporelles de ses mouvements (étude 3 et 4), mais également de tirer spontanément avantage de ces indices sociaux pour la production de réponses comportementales complémentaires. L'ensemble de ces données suggère que nos capacités à prédire les actions d'autres personnes et à attribuer des états-mentaux à ceux-ci sont fortement ancrées dans les interactions entre notre corps et l'environnement social. En particulier, nous avons vu qu'il était possible d'accéder spontanément aux intentions sociales d'autrui sur la base de simples processus perceptifs et moteurs. Ce travail soutient ainsi l'approche incarnée de la cognition sociale en montrant le rôle déterminant des expériences sensori-motrices dans les processus de mentalisation habituellement considérés comme relevant d'opérations de « haut-niveaux » et donc étanchent aux influences sensori-motrices (Jacob & Jeannerod, 2005 ; Goldman & De Vignemont, 2009).

2. Arguments en faveur d'une approche incarnée de la cognition sociale

Une approche incarnée de la cognition suppose que les processus cognitifs soient profondément ancrés dans les interactions entre le corps et l'environnement (Wilson, 2002). Appliquant ce principe au domaine de la cognition sociale, il a été proposé que la résonance motrice constitue le mécanisme d'accès aux états mentaux d'autrui (e.g. Costantini & Sinigaglia, 2012 ; Gallese, 2003). En présence d'un individu, nous aurions tendance à reproduire spontanément, bien que de façon minimale, les comportements moteurs observés. Précisément, nous synchroniserions notre activité mentale sur cet individu et, à travers ce processus de résonance, il nous serait possible d'accéder à ses états-mentaux en les expérimentant à la première personne. Une telle conception possède cependant une limite

importante puisqu'elle ne permet d'expliquer que partiellement les capacités de cognition sociale. Par exemple, cette approche permet de rendre compte des phénomènes de contagion émotionnelle, mais explique difficilement les effets de facilitation lors de la réalisation d'actions complémentaires en situations d'interaction sociale (tels qu'observés dans notre étude 3). En effet, l'importance de la résonance motrice pour la cognition sociale conduit à penser que l'observation d'une action devrait faciliter la production d'une action identique et non pas une action complémentaire. Cependant, considérer que l'observation d'un individu en train de produire une action entraîne, chez l'observateur, l'activation d'un état moteur similaire à celui éprouvé par cet individu, constitue une vision incomplète de la cognition incarnée. Si l'on s'intéresse à la perception de stimuli non biologiques, il n'est pas possible de synchroniser notre activité nerveuse ou musculaire avec celle de l'objet perçu. Par contre, si nous avons une expérience préalable avec l'un de ces stimuli, la production des comportements qui lui sont associés se verra facilitée (Barsalou, 2013). Ainsi, confrontés à la vision d'un ballon de football roulant au sol dans notre direction, nous ne nous verrions pas prédisposés – à travers la pré-activation du système moteur lors de la perception - à produire un comportement de roulade mais plutôt un comportement de tir. Un tel processus pourrait tout à fait survenir en situation d'observation d'autres personnes et ainsi rendre compte de la facilitation à produire des actions complémentaires. Il est effectivement considéré que l'émission répétée d'un même comportement en réponse à l'action d'un congénère peut, à terme, entraîner son activation automatique (Barsalou, 2013) ainsi qu'une orientation congruente de l'attention (Paulus, 2012) à la simple perception de cette action. Illustrant ce phénomène, l'observation d'un comportement de menace n'entraîne pas nécessairement la production de comportements de menaces en retour mais peut engendrer des réponses

d'évitement (Bar-Haim, Lamy, Pergamin, Bakermans-Kranenburg, & van Ijzendoorn, 2007) ou encore de freezing (Roelofs, Hageraars, & Stins, 2010).

La plupart des actions que nous produisons en situation d'interaction sociale sont des actions complémentaires (e.g. attraper un objet qu'on nous lance), et non pas des actions similaires (e.g. lancer l'objet), pouvant être induites par le phénomène de résonance motrice. Comme le mettent en évidence des travaux récents, la perception d'une action motrice réalisée par une autre personne peut, sous certaines conditions, faciliter la production de réponses comportementales complémentaires et non pas similaires (Sartori, Buccioni, & Castiello, 2013; Sartori, Cavallo, Buccioni, & Castiello, 2011, 2012). Nous faisons ainsi l'hypothèse que parce que nous sommes sensibles à des indices biologiques extérieurs dans la préparation et la réalisation de nos propres actions, nous pouvons spontanément accéder aux intentions d'autrui. Ainsi, de la même façon que lorsque l'on est incité à fuir on ressent la menace chez autrui, on peut inférer des intentions sociales chez la personne observée lorsque l'on est amené à produire une réponse motrice complémentaire en situation d'interaction. Cette vision est tout à fait congruente avec une approche incarnée de la cognition sociale. Nous pensons que si, dans le passé, des critiques ont été formulées quant à la capacité de l'approche incarnée de la cognition à pouvoir rendre compte des capacités de lecture d'intentions, c'est essentiellement parce que l'usage de la cognition incarnée en contexte social s'est limité aux phénomènes de résonances motrices. Supportant cette hypothèse, de nombreux travaux ont montré que la tendance à l'imitation spontanée des comportements d'autrui peut être abolie par apprentissage et peut même donner lieu à une facilitation de la production d'actions réalisées de façon contingente et répétée en réponse aux comportements observés (Catmur, Walsh, & Heyes, 2007 ; Heyes, Bird, Johnson, & Haggard, 2005 ; Gowen, Bradshaw, Galpin, Lawrence, & Poliakoff, 2010).

Ainsi, à travers nos expériences sensori-motrices quotidiennes, des représentations conceptuelles incarnées, c'est à dire conservant la trace des expériences motrices et perceptives préalables, sont maintenues en mémoire (Barsalou, 2008). Grâce aux associations répétées entre les actions et leurs conséquences, la simple observation d'une action entrainerait automatiquement l'activation d'une réponse complémentaire adaptée chez l'observateur (Barsalou, 2013; Paulus, 2011) et lui offrirait, par ce biais, un accès direct aux intentions motrices et sociales poursuivies par autrui.

3. Un retour aux conceptions comportementalistes ?

L'approche incarnée de la cognition sociale, telle que nous venons de la décrire, repose sur un mécanisme d'appariement entre la perception des comportements d'autrui et la production d'actions motrices complémentaires. Cette approche n'est pas sans rappeler la conception associassoniste de l'articulation des circuits neuronaux défendu par Hebb (1949). Selon lui, deux ensembles de cellules nerveuses qui se voient activés de façon synchrone et répétée vont tendre à devenir associés et, par conséquent, l'activité de l'un de ces ensembles facilite l'activité du second. Suivant ce principe, l'expérience répétée d'une forte contingence entre les activations des systèmes sensoriels et moteurs en situation d'interaction sociale peut ainsi expliquer comment la perception de comportements prosociaux réalisés par une autre personne peut entraîner la préparation à la production d'actions complémentaires chez l'observateur. Dans ce contexte, on peut admettre une certaine similitude entre la théorie incarnée de la cognition sociale et l'approche comportementaliste (e.g. Jacob, 2011). Le comportementalisme propose une théorie du comportement refusant d'accorder un statut causal aux événements non directement observables et mesurables et se focalise donc sur

l'explication des comportements en réponse aux stimuli de l'environnement (Watson, 1913). Si certains théoriciens d'une cognition sociale incarnée se défendent catégoriquement d'endosser une approche comportementaliste (Niedenthal, Barsalou, Winkielman, Krauth-Gruber & Ric, 2005 ; Zahavi, 2011), nous considérons que ces deux approches possèdent de nombreux points communs et qu'une vision comportementaliste de la cognition sociale ne devrait par conséquent pas être systématiquement écartée a priori. En effet, l'ensemble de la thèse développée dans ce manuscrit soutient l'idée que c'est à travers une série d'associations, débutant dès le plus jeune âge, entre des stimuli sociaux et les états moteurs et physiologiques éprouvés par l'individu, que viendraient se développer les capacités de cognition sociale. Chez les mammifères, déjà in utero, il est probable que le fœtus puisse relier certains comportements de sa mère (cris, pleurs, course, etc.) à différentes valences émotionnelles de par les conséquences hormonales qu'ils partagent (voir Decety, 2011, pour une discussion de l'émergence des capacités d'empathie). Puis, après la naissance, des associations se forment à travers les processus d'imitation spontanée détaillés précédemment dans ce manuscrit (le bébé, dans un état de tristesse, perçoit le visage de sa mère, manifestant, en réponse, elle aussi une expression faciale associée à la tristesse, et lie ainsi un ressenti émotionnel à la perception d'indices visuels sociaux). Enfin, plus tard, l'individu fait l'expérience d'interactions répétées avec d'autres personnes et des actions complémentaires seront donc associées à la perception de certains comportements produits par ses partenaires (par exemple, le fait de taper dans la main de quelqu'un lorsque celui-ci nous tend la paume de sa main). Ainsi, au cours de son développement, un individu construit de forts liens entre les stimuli de l'environnement et leurs conséquences sensori-motrices. A terme, la perception pourrait revêtir une fonction prédictive du point de vue de l'anticipation des actions d'autrui (Wilson & Knoblich, 2006) : la simple perception d'un congénère en train d'agir viendrait automatiquement activer une

réponse motrice complémentaire et adaptée et, par cet intermédiaire, permettre un accès aux intentions d'autrui.

Pour de Vignemont et Singer (2006), l'accès aux états mentaux d'autrui ne peut pas être direct puisqu'il est modulé par des facteurs contextuels et les connaissances que l'on a acquis précédemment sur les individus. Certaines formulations peuvent parfois donner l'impression de négliger ces influences : Gangopadhyay et Schilbach (2011) écrivent, par exemple, qu'il n'est pas nécessaire de postuler l'existence de traitements intermédiaires entre la perception d'autrui et l'accès à ses intentions. Cependant, considérer que l'accès aux intentions d'autrui relève d'une réponse conditionnée n'implique en aucun cas de négliger le rôle du contexte et des connaissances disponibles sur les personnes. Tout d'abord, puisque la perception des intentions d'autrui repose sur l'expérience de l'organisme percevant, il est tout à fait concevable que les connaissances explicites précédemment acquises (Fehr & Fischbacher, 2004), de même que les précédentes interactions expérimentées (Singer et al., 2004) influencent l'attribution d'états mentaux. Gallagher (2008) illustre ce point à travers l'exemple de la reconnaissance d'une voiture par un observateur. Face à une voiture, aucune inférence n'est nécessaire pour la reconnaître à partir de ses caractéristiques physiques (forme, couleur, etc.), notre perception de la voiture en tant que telle est directe et immédiate. Ce que l'on perçoit spontanément, c'est une voiture. Pourtant, nous ne pourrions pas la reconnaître sans posséder de connaissances préalables de la définition de ce terme. Les informations en mémoire ne sont donc pas négligées, il est simplement admis que les apprentissages viennent spontanément guider la perception plutôt que la compléter a posteriori. Ensuite, concernant l'influence du contexte, elle est inhérente à la perception d'autrui. En effet, nous observons classiquement les individus au sein d'un contexte donné et celui-ci peut donc occuper le rôle de stimulus discriminatif. Confirmant ce point, il a été observé que la perception d'une action

pouvait activer des représentations motrices spécifiques en fonction des caractéristiques temporelles de la situation (González-Perilli & Ellis, 2015) et selon que l'environnement suggère que cette action soit réalisée avec une visée collaborative ou non (Sartori et al., 2011, 2012, 2013). Ainsi, puisque le contexte influence les représentations motrices activées, il est tout à fait envisageable, selon notre approche, qu'il affecte également spontanément les attributions d'intentions.

La conception défendue dans ce manuscrit ne néglige donc ni le rôle des apprentissages passés, ni le rôle de la situation. Elle se refuse simplement à l'idée que ces influences soient la conséquence de processus conscients et volontaires et de mécanismes mentaux désincarnés. Nous rejetons la vision d'un individu « rationnel » qui déduirait, par raisonnement et sur la base de connaissances a priori, les états mentaux d'autrui comme le postule la conception dite « theory-theory » de la cognition sociale. De même, nous n'adhérons pas à l'idée selon laquelle l'accès aux états psychologiques d'autres personnes repose nécessairement sur la génération d'états mentaux similaires chez l'observateur comme il l'est défendu dans la « simulation theory ». L'enjeu ne nous semble pas tellement de savoir si l'approche incarnée permet de conceptualiser l'influence de stimuli extérieurs à l'interaction sociale, mais davantage de savoir si elle peut rendre compte de l'ensemble des capacités de mentalisation puisqu'elle semble résumer la cognition sociale à l'interaction sociale (Krueger, 2011).

4. Deux niveaux de cognition sociale

Comme nous l'avons rappelé en introduction, Apperly et Butterfill (2009) proposent l'existence de deux systèmes cognitifs soutenant les capacités de mentalisation. Le premier serait inflexible et rapide et serait impliqué dans les attributions survenant « en direct » lors

d'interactions sociales. Le second serait plus lent mais permettrait les inférences conscientes et volontaires d'états mentaux, pouvant être réalisées en présence d'autrui comme en situation d'isolement. Les études que nous avons réalisées au sein de ce travail de thèse, ainsi que la littérature discutée, suggèrent que le premier système repose largement sur des processus incarnés. Concernant le second système, il n'existe aujourd'hui que peu de données confirmant un potentiel ancrage sensori-moteur. Cependant, différents arguments en faveur d'une telle conception méritent d'être soulignés. D'abord, nous avons mis en évidence une corrélation importante entre les capacités explicites de mentalisation des participants et leur sensibilité à détecter les intentions d'autrui à partir de variations cinématiques. Bien que ce ne soit qu'un résultat unique, celui-ci suggère que les processus implicites et les processus explicites de mentalisation entretiennent un lien fort. Ensuite, la différence entre les systèmes implicite et explicite de mentalisation n'est pas sans rappeler la distinction plus générale faite entre les processus « on-line » et processus « off-line » de la cognition (Wilson, 2002). Les processus « on-line » renvoient aux processus supportant les activités cognitives réalisées en réponse aux stimulations environnementales alors que les processus « off-line » soutiennent les activités cognitives découplées de l'environnement. Bien que détachées du monde réel, de nombreuses études soutiennent que ces dernières soient également ancrées dans les états corporels et les systèmes sensoriels (pour une revue, voir Niedenthal et al., 2005). Ainsi, puisqu'il est considéré que les activités cognitives explicites et volontaires, réalisées en l'absence de stimulations externes, puissent elles aussi être incarnées, il est aisé de concevoir qu'il en soit de même pour le système explicite de mentalisation. Enfin, de nombreuses études provenant du champ de la psychologie sociale suggèrent que seule une infime partie de nos comportements est déterminée par des processus cognitifs explicites (pour une revue, voir

Dijksterhuis, Chartrand, & Aarts, 2007) et que la très grande majorité soit simplement la conséquence d'associations implicites existant en mémoire.

Ainsi, même s'il existe aujourd'hui peu de connaissances sur les liens existant entre les processus implicites et explicites de la cognition sociale (Frith & Frith, 2008), il est possible que - tout comme les processus implicites - les processus explicites de la cognition reposent sur la mise en jeu du système sensori-moteur. Chez l'humain, ce second système pourrait se construire en s'ancrant sur les réseaux implicites de cognition sociale, mais n'apparaîtrait que plus tardivement, une fois la conscience réflexive acquise (Frith & Frith, 2012). Cependant, puisqu'il semble que la compréhension des autres individus puisse en très grande partie survenir sur la base de processus implicites, la nécessité de considérer ce second système de cognition sociale peut être discutée (Gallagher & Zahavi, 2008).

5. Perspectives de recherches

Des travaux précédemment discutés découlent de nombreuses perspectives de recherches et d'importantes implications d'un point de vue psychologique et philosophique, tout comme d'un point de vue appliqué. Nous allons, dans un premier temps, détailler les enjeux théoriques qui nous semblent émerger des études de cette thèse, puis, nous aborderons ensuite les conséquences pratiques qui peuvent être envisagées.

5.1 Perspectives théoriques

Tout d'abord, les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse viennent renforcer l'hypothèse d'un lien entre perception du mouvement biologique et cognition sociale (Pavlova, 2012) et offrent de forts arguments pour soutenir une approche incarnée de la cognition sociale. En effet, bien que cela fut longtemps considéré comme impossible (e.g. Jacob & Jeannerod, 2005 ; Goldman & De Vignemont, 2009), nos résultats montrent que des capacités dites de « haut niveau » de cognition sociale, comme l'inférence d'intentions sociales, puissent reposer sur des processus sensori-moteurs. Comme nous l'avons détaillé plus haut, nous défendons l'idée que l'approche incarnée de la cognition sociale, lorsqu'elle n'est pas limitée aux phénomènes de résonance motrice, peut tout à fait rendre compte de l'ensemble des capacités chez une personne à accéder spontanément aux états-mentaux d'autrui. De par son fort ancrage dans les interactions motrices et perceptives immédiates, il a été parfois proposé que la cognition sociale puisse n'être rien de plus que l'interaction sociale (Krueger, 2011). Aujourd'hui, si cette conception peut paraître extrême, nous soutenons du moins l'idée selon laquelle l'interaction sociale est essentielle et constitutive de l'émergence de la cognition sociale. Quoi qu'il en soit, il est aujourd'hui postulé que ce n'est qu'à travers l'investigation de l'interaction sociale que nous pourrions développer des connaissances fiables sur les capacités humaines de mentalisation (De Jaegher, Di Paolo, & Gallagher, 2010). A ce jour, cette démarche a permis l'accumulation de preuves expérimentales en faveur d'une conception incarnée de l'accès aux émotions et aux intentions d'autrui. Il n'est, toutefois, pas sûr que l'ensemble des états mentaux soient disponibles dans les actions motrices volontaires et le challenge pour le futur sera de tester si la conception incarnée de la cognition sociale peut également rendre compte de l'accès aux croyances.

Ensuite, puisque l'environnement peut affecter les tendances à l'action des individus (Cesario, Plaks, Hagiwara, Navarrete, & Higgins, 2010) ainsi que les processus d'inférences d'intentions (Stapel, Hunnius, & Bekkering, 2012), il nous paraît absolument nécessaire d'investiguer si les effets que nous avons rapportés peuvent être retrouvés au sein de différents contextes sociaux. Toute interaction sociale peut être coopérative ou compétitive selon le partage des ressources qui en résultera (Schneider, Benenson, Fülöp, Berkics, & Sandor, 2011). On définit ainsi une situation comme étant coopérative lorsque les individus sont amenés à collaborer pour atteindre un but commun et que le bénéfice qui en est tiré est partagé. Inversement, une situation est définie comme compétitive lorsque les individus impliqués poursuivent des buts qui ne peuvent pas être simultanément atteints. Dans ce second contexte, la réussite de l'un se fait nécessairement au détriment de l'autre. De par l'universalité de cette distinction, l'investigation de l'influence du type de relation - coopérative ou compétitive - entretenue par les individus sur les manifestations comportementales des intentions semble être, pour le futur, une étape nécessaire dans la compréhension des capacités de mentalisation. Certains travaux nous amènent à suggérer que les variations cinématiques associées à la poursuite d'une intention sociale pourraient être dépendantes du caractère coopératif ou compétitif dans lequel se trouvent les individus. Streuber et al. (2011), par exemple, ont montré que dans une activité sportive du type tennis de table, différentes informations visuelles étaient prises en compte selon le contexte dans lequel se trouvaient les participants. Précisément, l'accès visuel au corps d'un partenaire semble davantage déterminant dans les situations de compétition que dans celles de coopération. Par ailleurs, des travaux suggèrent qu'en situation d'interdépendance, les individus accordent plus d'attention aux autres personnes et ont par conséquent tendance à partager des représentations d'actions communes (Toma, Yzerbyt, & Corneille, 2010). A

notre connaissance, une seule étude s'est intéressée à l'influence d'un contexte coopératif ou compétitif sur la cinématique des mouvements (Georgiou et al., 2007). Cependant, dans cette étude, les consignes différaient entre les situations de coopération et de compétition, ce qui n'autorisait les comparaisons de ces conditions qu'avec des situations où les participants agissaient seuls. Ainsi, les auteurs ont mis en évidence des différences cinématiques selon que les participants agissaient seuls ou avec (ou contre) autrui. Aucune information n'est donc, à ce jour, disponible à propos de l'influence du contexte social sur la manifestation des signatures cinématiques de l'intention sociale. Il nous semble donc important d'investiguer prochainement comment les différences cinématiques observées selon qu'une action est réalisée pour soi ou pour autrui sont modulées par le contexte social, et notamment par les situations de coopération et de compétition.

Enfin, il semble important de nous intéresser aux caractéristiques des individus. Non pas aux caractéristiques de l'observateur, comme nous l'avons fait dans l'étude 4 de cette thèse, mais plutôt aux caractéristiques sociales de l'individu vers qui sont dirigées les actions motrices. En effet, nous défendons l'idée que le traitement implicite des variations sociales de la cinématique d'autrui entraîne, chez l'observateur, l'activation de réponses comportementales adaptées et l'informe, de la sorte, de l'intention sociale d'autrui. Or, différents travaux mettent en évidence une influence du niveau d'intimité partagé entre les individus sur la sensibilité des actions individuelles aux intentions d'autres personnes (Fitzsimons & Bargh, 2003 ; Shah, 2003). Ainsi, nous nous attendons à ce que les variations "sociales" de la cinématique des mouvements puissent être modulées par les caractéristiques sociales des individus vers qui ces actions sont dirigées (et notamment par leur appartenance groupale, Gallagher & Varga, 2014).

5.2. Applications

Tout d'abord, en renforçant l'hypothèse d'un lien fort entre motricité et cognition sociale, cette thèse offre un cadre de réflexion innovant pour expliquer l'origine de psychopathologies caractérisées par un déficit des capacités de mentalisation. C'est notamment le cas de l'autisme, pathologie mentale dans laquelle on observe un manque d'intérêt pour les interactions sociales (American Psychiatric Association, 2013). Suivant cette conception, Pavolva (2005) suggère que les difficultés de cognition sociale observées dans l'autisme soient la conséquence de déficits de traitement du mouvement biologique. De plus, il a récemment été mis en évidence l'existence de profils cinématiques atypiques pour la réalisation de mouvements horizontaux du bras chez les individus atteints d'autisme (Cook, Blakemore, & Press, 2013). Par ailleurs, dans cette étude, les caractéristiques atypiques des mouvements générés étaient d'autant plus extrêmes que la symptomatologie des individus était sévère. L'étude de la cinématique des mouvements chez des individus présentant des déficits de cognition sociale pourrait ainsi être une voie prometteuse pour une meilleure compréhension de l'origine de ces troubles et ainsi développer de nouveaux outils thérapeutiques. De façon intéressante, les paradigmes expérimentaux utilisés dans les études de cette thèse n'impliquent pas de tâches verbales. Adoptant une perspective diagnostique, il pourrait ainsi découler de nos travaux la création de tests non-verbaux des capacités de mentalisation. Des applications sont également possibles en dehors du champ de la psychopathologie. Il nous apparaît, par exemple, important d'investiguer s'il est possible de retrouver les variations cinématiques liées à l'intention sociale dans l'exécution de mouvements non contraints et réalisés dans des conditions naturelles. Si de telles déformations motrices sont retrouvées à travers les situations, elles pourraient alors servir

d'indicateurs non-verbaux de la présence d'une intention sociale. Il serait alors possible d'interpréter la portée sociale d'une action sans nécessairement avoir recours aux discours des individus. En suivant cette démarche, il pourrait, à terme, également être possible de développer des indicateurs comportementaux de l'intention sociale pour d'autres espèces de primates, pour lesquelles nous n'avons pas accès au langage. Ceci constituerait une avancée technique déterminante pour la compréhension des états mentaux d'autres espèces animales. Enfin, la robotique envahit progressivement notre quotidien et la capacité de détection des intentions sociales par des systèmes artificiels pourraient représenter un enjeu important dans l'aide aux personnes à mobilité réduite basée sur des robots d'assistance.

REFERENCES

- Aarts, H., Gollwitzer, P. M., & Hassin, R. R. (2004). Goal contagion: perceiving is for pursuing. *Journal of Personality and Social Psychology*, 87, 23:37.
- Abernethy, B., & Zawi, K. (2007). Pick-up of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns. *Journal of Motor Behavior*, 39, 353:367.
- Abernethy, B., Zawi, K. & Jackson, R. C., (2008). Expertise and attunement to kinematic constraints. *Perception*, 37, 931- 948.
- Aglioti, S., M., Cesari, P., Romani, M., & Urgesi, C. (2008). Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nature Neuroscience*, 11, 1109–1116. doi: 10.1038/nn.2182
- Alaerts, K., Nackaerts, E., Meyns, P., Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2011). Action and emotion recognition from point light displays: an investigation of gender differences. *PloS one*, 6.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC: Author.
- Ansuini C., Cavallo A., Bertone C., & Becchio C. (2014a). Intentions in the brain: The unveiling of Mister Hyde. *The Neuroscientist*.
- Ansuini, C., Cavallo, A., Bertone, C., & Becchio, C. (2014b). The visible face of intention: why kinematics matters. *Frontiers in Psychology*, 5. doi:10.3389/fpsyg.2014.00815
- Ansuini, C., Cavallo, A., Bertone, C., & Becchio, C. (2015). Intentions in the brain: The unveiling of Mister Hyde. *The Neuroscientist*, 21, 126-135. doi: 10.1177/1073858414533827
- Ansuini, C., Giosa, L., Turella, L., Altoe, G., & Castiello, U. (2008). An object for an action, the same object for other actions: effects on hand shaping. *Experimental Brain Research*, 185, 111–119. doi: 10.1007/s00221-007-1136-4.
- Ansuini, C., Santello, M., Massaccesi, S., & Castiello, U. (2006). Effects of end-goal on hand shaping. *Journal of Neurophysiology*, 95, 2456–2465. doi: 10.1152/jn.01107.2005.
- Apperly, I. A. (2012). What is “theory of mind”? Concepts, cognitive processes and individual differences. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65, 825-839.
- Apperly, I. A., & Butterfill, S. A. (2009). Do humans have two systems to track beliefs and belief-like states? *Psychological Review*, 116, 953-970.
- Argyle, M., & Cook, M. (1976). *Gaze and mutual gaze*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

- Armbrüster, C., & Spijkers, W. (2006). Movement planning in prehension: do intended actions influence the initial reach and grasp movement? *Motor Control*, 10, 311–329.
- Atkinson, A. P., Dittrich, W. H., Gemmell, A. J., & Young, A. W. (2004). Emotion perception from dynamic and static body expressions in point-light and full-light displays. *Perception*, 33, 717–746.
- Atkinson, A. P., Tunstall, M. L., & Dittrich, W. H. (2007). Evidence for distinct contributions of form and motion information to the recognition of emotions from body gestures. *Cognition*, 104, 59–72. doi : 10.1016/j.cognition.2006.05.005
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & van Ijzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological Bulletin*, 133, 1–24.
- Baron Cohen, S. (2003). *The Essential Difference: The Truth about the Male and Female Brain*. New York: Basic Books.
- Baron-Cohen, S., Jolliffe, T., Mortimore, C., & Robertson, M. (1997). Another advanced test of theory of mind: Evidence from very high functioning adults with autism or Asperger syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38, 813–822.
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Hill, J., Raste, Y., & Plumb, I. (2001). The “Reading the Mind in the Eyes” Test revised version: A study with normal adults, and adults with Asperger syndrome or high-functioning autism. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 42, 241–251. doi: 10.1111/1469-7610.00715
- Barresi, J., & Moore, C. (1996). Intentional relations and social understanding. *Behavioral and Brain Sciences*, 19, 107–122.
- Barsalou, L. W. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and Cognitive Processes*, 18, 513–562
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645.
- Barsalou, L. W. (2013). Mirroring as pattern completion inferences within situated conceptualizations. *Cortex*, 49, 2951–2953.
- Bateson, M., Nettle, D., & Roberts, G. (2006). Cues of being watched enhance cooperation in a real-world setting. *Biology Letters*, 2, 412–414
- Batson, C. D. (1991). *The altruism question: Toward a social-psychological answer*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Batson, C. D. (2009). These things called empathy: eight related but distinct phenomena. In J. Decety & W. Ickes (Eds.), *The Social Neuroscience of Empathy*, (pp. 3-15), Cambridge: The MIT Press.
- Bayliss, A. P., Paul, M. A., Cannon, P. R., & Tipper, S. P. (2006). Gaze cueing and affective judgments of objects: I like what you look at. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*, 1061–1066. doi: 10.3758/
- Becchio C., Cavallo A., Begliomini C., Sartori L., Feltrin G., & Castiello U. (2012). Social grasping: from mirroring to mentalizing. *NeuroImage*, *61*, 240-248.
- Becchio, C., Bertone, C., & Castiello, U. (2008). How the gaze of others influences object processing. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*, 254-258. doi: 10.1016/j.tics.2008.04.005
- Becchio, C., Del Giudice, M., Dal Monte, O., Latini-Corazzini, L., & Pia, L. (2011). In your place: neuropsychological evidence for altercentric remapping in embodied perspective taking. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*, 165:170. doi:10.1093/scan/nsr083
- Becchio, C., Sartori, L., & Castiello, U. (2010). Toward You: The Social Side of Actions. *Current Directions in Psychological Science*, *19*, 183 :188. doi : 10.1177/0963721410370131
- Becchio, C., Sartori, L., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2008a). The case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde: A kinematic study on social intention. *Consciousness and Cognition*, *17*, 557-564. doi: 10.1016/j.concog.2007.03.003
- Becchio, C., Sartori, L., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2008b). Both your intention and mine are reflected in the kinematics of my reach-to-grasp movement. *Cognition*, *106*, 894–912. doi: 10.1016/j.cognition.2007.05.004.
- Bekkering, H., Wohlschläger, A., & Gattis, M. (2000). Imitation of gestures in children is goal-directed. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *53*, 153-164.
- Blake, R., & Shiffrar, M. (2007). Perception of Human Motion. *Annual Review of Psychology*, *58*, 47-73. doi: 10.1146/annurev.psych.57.102904.190152
- Blake, R., Turner, L. M., Smoski, M. J., Pozdol, S. L., & Stone, W. L. (2003). Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychological Science*, *14*, 151–157.

- Blakemore, S. J., & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Review Neuroscience*, 2, 561–567. doi:10.1038/35086023
- Blakemore, S. J., Winston, J., & Frith, U. (2004). Social cognitive neuroscience: where are we heading? *Trends in Cognitive Science*, 8, 216–222.
- Bond, C. F., & DePaulo, B. M. (2006). Accuracy of deception judgments. *Personality and social psychology Review*, 10, 214–234.
- Boucher, J-D., Pattacini, U., Lelong, A., Bailly, G., Elisei, F., Fagel, S., Dominey, P. F. & Ventre-Dominey, J. (2012). I reach faster when I see you look: gaze effects in human–human and human–robot face-to-face cooperation. *Frontiers in Neurorobotics*, 6. doi: 10.3389/fnbot.2012.00003
- Brand, R. J., & Shallcross, W. L. (2008). Infants prefer motionese to adult-directed action. *Developmental Science*, 11, 853–861.
- Brand, R. J., Baldwin, D. A., & Ashburn, L. A. (2002). Evidence for ‘motionese’: Modifications in mothers’ infant-directed action. *Developmental Science*, 5, 72–83.
- Brass, M., Bekkering, H., Wohlschläger, A., & Prinz, W. (2000). Compatibility between observed and executed finger movements: Comparing symbolic, spatial, and imitative cues. *Brain and Cognition*, 44, 124–143.
- Brass, M., Schmitt, R. M., Spengler, S., & Gergely, G. (2007). Investigating action understanding: inferential processes versus action simulation. *Current Biology*, 17, 2117–2121. doi: 10.1016/j.cub.2007.11.057
- Bratman, M. E. (1992). Shared cooperative activity. *The Philosophical Review*, 101, 327–341.
- Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Bayle, M. C., & Decety, J. (2000). A PET investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *NeuroImage*, 11, 157–166.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R. J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H. J., (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 13, 400–404.
- Bugnyar, T., Stowe, M., & Heinrich, B. (2004). Ravens, *Corvuscorax*, follow gaze direction of humans around obstacles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271, 1331–1336.

- Bush, L. K., Barr, C. L., McHugo, G. J., & Lanzetta, J. T. (1989). The effects of facial control and facial mimicry on subjective reactions to comedy routines. *Motivation and Emotion, 13*, 31–52.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex, 15*, 1243–1249.
- Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D. E., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2006). Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Current Biology, 16*, 1905–1910.
- Campbell, M. W., Carter, J. D., Proctor, D., Eisenberg, M. L., & de Waal, F. B. M. (2009). Computer animations stimulate contagious yawning in chimpanzees. *Proceedings of the Royal Society B, 276*, 4255–4259. doi: 10.1098/rspb.2009.1087.
- Canal Bruland, R. & Schmidt, M. (2009). Response bias in judging deceptive movements. *Acta Psychologica, 130*, 235–240. doi:10.1016/j.actpsy.2008.12.009
- Casile, A., & Giese, M. A. (2006). Nonvisual motor training influences biological motion perception. *Current Biology, 16*, 69–74.
- Castelli, F., Happe, F., Frith, U., & Frith, C. (2000). Movement and mind: a functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement patterns. *NeuroImage, 12*, 314–325.
- Castiello, U., Becchio, C., Zoia, S., Nelini, C., Sartori, L., Blason, L., et al. (2010). Wired to be social: The ontogeny of human interaction. *PLoS ONE, 5*, e13199.
- Catmur, C., Walsh, V., & Heyes, C. (2007). Sensorimotor learning configures the human mirror system. *Current Biology, 17*, 1527–1531. doi: 10.1016/j.cub.2007.08.006
- Cattaneo, L., & Rizzolatti, G. (2009). The Mirror Neuron System. *Archives of Neurology, 66*, 557–560.
- Centelles, L., Assaiante, C., Etchegoyhen, K., Bouvard, M., & Schmitz, C. (2012). from action to interaction: exploring the contribution of body motion cues to social understanding in typical development and in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 43*, 1140–1150. Doi : 10.1007/s10803-012-1655-0

- Cesario, J., Plaks, J. E., Hagiwara, N., Navarrete, C. D., & Higgins, E. T. (2010). The ecology of automaticity: How situational contingencies shape action semantics and social behavior. *Psychological Science*, *21*, 1311-1317.
- Chaminade, T., & Cheng, G. (2009). Social cognitive neuroscience and humanoid robotics. *Journal of Physiology*, *103*, 286-295.
- Chaminade, T., Méary, D., Orliaguet, J-P., & Decety, J. (2001). Is perceptual anticipation a motor simulation? A PET study. *Neuroreport*, *12*, 3669–3674.
- Chartrand, T. L., & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, *76*, 893–910.
- Chary C., Méary,D., Orliaguet, J-P., David, D., Moreaud, O., & Kandel, S. (2004). Influence of motor disorders on visual perception of human movements in a case of peripheral dysgraphia. *Neurocase*, *10*, 223-232.
- Chieffi, S. & Gentilucci, M. (1993). Coordination between the transport and the grasp components during prehension movements. *Experimental Brain Research*, *94*, 471–477.
- Ciaramidaro, A., Adenzato, M., Enrici, I., Erk, S., Pia, L., Bara, B. G., & Walter, H. (2007). The intentional network: How the brain reads varieties of intentions. *Neuropsychologia*, *45*, 3105-3113. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.05.011
- Clayton, N. S., & Emery, N. J. (2007). The social life of corvids. *Current Biology*, *17*, 652–656.
- Clements, W. A., & Perner, J. (1994). Implicit understanding of belief. *Cognitive Development*, *9*, 377–397.
- Cleret de Langavant, L., Remy, P., Trinkler, I., McIntyre, J., Dupoux, E., Berthoz, A., & Bachoud-Lévi, A. C. (2011). Behavioral and neural correlates of communication via pointing. *PLoS ONE*, *6*, e17719. doi: 10.1371/journal.pone.0017719
- Cleret de Langavant, L., Trinkler, I., Remy, P., Thirioux, B., McIntyre, J., Berthoz, A., Dupoux, E., & Bachoud-Lévi, A. C. (2012). Viewing another person's body as a target object: A behavioural and PET study of pointing. *Neuropsychologia*, *50*, 1801–1813.
- Cook, J., Blakemore, S.-J., & Press, C. (2013). Atypical basic movement kinematics in autism spectrum conditions. *Brain*, *136*, 2816-2824. doi:10.1093/brain/awt208

- Cook, J., Saygin, A. P., Swain, R., & Blakemore, S. J. (2009). Reduced sensitivity to minimum-jerk biological motion in autism spectrum conditions. *Neuropsychologia*, 47, 3275–3278.
- Costantini, M., & Sinigaglia, C. (2012) Grasping affordance: A window onto social cognition. In A. Seeman (Ed.) *Joint Attention: New Developments in Psychology, Philosophy of Mind, and Social Neuroscience* (pp. 431-470). MIT Press: Cambridge Mass.
- Costantini, M. & Sinigaglia, C. (2012). Grasping affordance: A window onto social cognition. In A. Seeman (ed.) *Joint attention: new developments in psychology, philosophy of mind, and social neuroscience* (pp. 431-470). MIT Press: Cambridge Mass.
- Costantini, M., Ambrosini, E., Tieri, G., Sinigaglia, C., & Committeri, G. (2010). Where does an object trigger an action? An investigation about affordances in space. *Experimental Brain Research*, 207, 95-103.
- Costantini, M., Committeri, G., & Sinigaglia, C. (2011). Ready both to your and to my hands: mapping the action space of others. *PLoS ONE*, 6, e17923.
- Csibra, G. (2007). Action mirroring and action interpretation: An alternative account. In: P., Haggard, Y., Rosetti, M., Kawato (Eds). *Attention and Performance XXII: Sensorimotor Foundations of Higher Cognition* (pp. 435-459). Oxford: Oxford University Press.
- Damasio, A. R. & Meyer, K. (2008). Behind the looking-glass. *Nature*, 454, 167-168
- Damasio, A. R. (2003). *Looking for Spinoza: Joy, sorrow, and the feeling brain*. Orlando, FL: Harcourt.
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., et al. (2006). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9, 28–30.
- Davis, M. H. (1980). Multidimensional approach to individual differences in empathy. *JSAS Catalog of Selected Documents in Psychology*, 10, 85.
- De Gelder, B., Van den Stock, J., Meeren, H. K. M., Sinke, C. B. A., Kret, M. E., & Tamietto, M. (2010). Standing up for the body. Recent progress in uncovering the networks involved in the perception of bodies and bodily expressions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34, 513–527. doi: 10.1016/j.neubiorev.2009.10.008
- De Jaegher H., & Di Paolo, E. (2007). Participatory Sense-Making: An enactive approach to social cognition. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 6, 485-507.

- De Jaegher, H., Di Paolo, E., & Gallagher, S. (2010). Does social interaction constitute social cognition? *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 441-447.
- De Jaegher, H., Di Paolo, E., & Gallagher, S. (2010). Can social interaction constitute social cognition? *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 441-447. doi:10.1016/j.tics.2010.06.009
- De Stefani, E., Innocenti, A., Secchi, C., Papa, V., & Gentilucci, M. (2013). Type of gesture, valence, and gaze modulate the influence of gestures on observer's behaviors. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00542>
- De Vignemont, F., & Singer, T. (2006). The empathic brain: how, when and why? *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 435-441.
- De Vignemont, F., & Haggard, P. (2008). Action observation and execution: what is shared? *Social Neuroscience*, 3, 421-33.
- Decety, J. (2011). Dissecting the neural mechanisms mediating empathy. *Emotion Review*, 3, 92-108.
- Decety, J., & Grèzes, J. (2006). The power of simulation: Imagining one's own and other's *Behavioural and Brain Research*, 1079, 4-14.
- DeJaegher, H. D. (2009). Social understanding through direct perception? Yes, by interacting. *Consciousness and Cognition*, 18, 535-542. doi: 10.1016/j.concog.2008.10.007
- Dennett, D. C. (1987). *The Intentional Stance*. MIT Press: Cambridge.
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91, 176-180.
- Diedrichsen, J., Werner, S., Schmidt, T., Trommershäuser, J. (2004). Immediate spatial distortions of pointing movements induced by visual landmarks. *Perception & Psychophysics*, 66, 89-103.
- Dijksterhuis, A., Chartrand, T., & Aarts, H. (2007). Effects of priming and perception on social behavior and goal pursuit. In J. A. Bargh (Ed.), *Social Psychology and the unconscious: The automaticity of higher mental processes* (pp. 51-131). New York: Psychology Press.
- Dimberg, U., Thunberg, M., & Elmehed, K. (2000). Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychological Science*, 11, 86-89. doi: 10.1111/1467-9280.00221
- Dittrich, W. H., Troscianko, T., Lea, S. E., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, 25, 727-738.

- Driver, J., Davis, G., Ricciardelli, P., Kidd, P., Maxwell, E., & Baron-Cohen, S. (1999). Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. *Visual Cognition*, 6, 509–540.
- Eastough, D., & Edwards, M. G. (2007). Movement kinematics in prehension are affected by grasping objects of different mass. *Experimental Brain Research*, 176, 193–198.
- Ehrsson, H. H., Geyer, S., & Naito, E. (2003). Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part specific motor representations. *Journal of Neurophysiology*, 90, 3304–3316.
- Elsner, C., Falck-Ytter, T., & Gredebäck, G. (2012). Humans Anticipate the Goal of other People's Point-Light Actions. *Frontiers in Psychology*, 120, 1-7. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00120
- Emery, N. J., Lorincz, E. N., Perrett, D. I., Oram, M. W., & Baker, C. I. (1997). Gaze following and joint attention in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Journal of Comparative Psychology*, 111, 286–293.
- Emery, N. J. (2000). The eyes have it: the neuroethology, evolution and function of social gaze. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 24, 581–604.
- Emery, N. J. (2005). *The evolution of social cognition*. In *Cognitive Neuroscience of Social Behaviour*, Hove, UK: Psychology Press.
- Ernest-Jones, M., Nettle, D., & Bateson, M. (2011). Effects of eye images on everyday cooperative behavior: a field experiment. *Evolution and Human Behavior*, 32, 172–178. doi: 10.1016/j.evolhumbehav.2010.10.006
- Farroni, T., Csibra, G., Simion, F., & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 9602–9605.
- Fehr, E., & Fischbacher, U. (2004). Social norms and human cooperation. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 185–190. doi:10.1016/j.tics.2004.02.007
- Ferrari, P. F., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, 17, 1703–1714.
- Ferri, F., Campione, G. C., Dalla Volta, R., Gianelli, C., & Gentilucci, M. (2011a). social requests and social affordances: how they affect the kinematics of motor sequences during interactions between conspecifics. *PLoS ONE*, 6, e15855. doi: 10.1371/journal.pone.0015855

- Ferri, F., Campione, G. C., Dalla Volta, R., Gianelli, C., & Gentilucci, M. (2011b). To me or to you? When the self is advantaged. *Experimental Brain Research*, 203, 637-646. doi: 10.1007/s00221-010-2271-x
- Fikes, T. G., Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (1994). Effects of object texture on precontact movement time in human prehension. *Journal of Motor Behavior*, 26, 325–332.
- Fitzsimons, G. M., & Bargh, J. A. (2003). Thinking of you: Nonconscious pursuit of interpersonal goals associated with relationship partners. *Journal of personality and social psychology*, 84, 148-164.
- Flash, T., & Hogan, N. (1985). The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. *Journal of neuroscience*, 5, 1688-1703.
- Fletcher, P. C., Happ, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of "theory of mind" in story comprehension. *Cognition*, 57, 109-128
- Flindall, J. W., & Gonzalez, C. L. R. (2014). Eating interrupted: the effect of intent on hand-to-mouth actions. *Journal of Neurophysiology*, 112, 2019–2025.
- Frank, S. A. (2007). All of life is social. *Current Biology*, 17, 648-650.
- Freitag, C. M., Konrad, C., Häberlen, M., Kleser, C., Von Gontard, A., Reith, W., Troje, N. F., & Krick, C. (2008). Perception of biological motion in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 46, 1480–1494.
- Friston, K. (2011). What is optimal about motor control. *Neuron*, 72, 488-498.
- Frith, C. D., & Frith, U. (2006). How we predict what other people are going to do. *Brain Research*, 1079, 36–46. doi: 10.1016/j.brainres.2005.12.126
- Frith, C. D., & Frith, U. (2008). Implicit and explicit processes in social cognition. *Neuron*, 60, 503-510.
- Frith, C. D., & Frith, U. (2012). Mechanisms of social cognition. *Annual Review of Psychology*, 63, 287-313.
- Frith, U. (1989). *Autism: Explaining the enigma*. Basil Blackwell: Oxford.
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U., & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of ‘theory of mind’ in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, 38, 11–21.
- Gallagher, S., & Varga, S. (2014). Social constraints on the direct perception of emotions and intentions. *Topoi*, 33, 185-199. Doi 10.1007/s11245-013-9203-x

- Gallagher, S., & Zahavi, D. (2008). *The Phenomenological Mind*. London: Routledge.
- Gallagher, S. (2008). Direct perception in the intersubjective context. *Consciousness and Cognition*, 17, 535-543. doi: 10.1016/j.concog.2008.03.003
- Gallese, V. (2003). The manifold nature of interpersonal relations: The quest for a common mechanism. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*, 358, 517-528.
- Gallese, V., & Goldman, A. I. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 493-551.
- Gallese, V., & Sinigaglia, C. (2011). What is so special about embodied simulation? *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 512-519.
- Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 396-403.
- Gallotti, M. & Frith, C. D. (2013). Social Cognition in the We-Mode. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 160-165.
- Gangopadhyay, N., & Schilbach, L (2011). Seeing Minds: A neurophilosophical investigation of the role of perception-action coupling in social perception. *Social Neuroscience*, 7, 410-423. doi: 10.1080/17470919.2011.633754.
- Gaussier, P., Moga, S., Quoy, M., & Banquet, J. P. (1998). From perception-action loops to imitation processes: A bottom-up approach of learning by imitation. *Applied Artificial Intelligence*, 12, 701-727.
- Gentilucci M., Negrotti, A., & Gangitano M. (1997). Planning an action. *Experimental Brain Research*, 115, 116-128.
- Gentilucci, M., Castiello, U., Corradini, M.L., Scarpa, M., Umiltà, C., & Rizzolatti, G. (1991). Influence of different types of grasping on the transport component of prehension movements. *Neuropsychologia*, 29, 361-378.
- Georgiou, I., Becchio, C., Glover, S., & Castiello, U. (2007). Different action patterns for cooperative and competitive behaviour. *Cognition*, 102, 415-433.
- Gergely, G., Nadasdy, Z., Csibra, G., & Biro, S. (1995). Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition*, 56, 165-193.
- Gianelli, C., Lugli, L., Baroni, G., Nicoletti, R., & Borghi, A. M (2011). "The object is wonderful or prickly": how different object properties modulate behavior in a joint context. In: B., Kokinov, A., Karmiloff-Smith, N. J., Nersessian, (eds.) *European Perspectives on Cognitive Science*. Bulgaria: New Bulgarian University Press.

- Gianelli, C., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2011). Acting in perspective: the role of body and language as social tools. *Psychological Research*, 77, 40-52. doi: 10.1007/s00426-011-0401-0
- Goldman, A., & de Vignemont, F. (2009). Is social cognition embodied? *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 154-159. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.007>
- Goldman, A. I. (2006). *Simulating Minds: The Philosophy, Psychology, and Neuroscience of Mindreading*. Oxford University Press, USA.
- Goldstone, R., & Barsalou, L. W. (1998). Reuniting perception and conception. *Cognition*, 65, 231-262.
- Gopnik, A., & Wellman, H. M. (1992). Why the child's theory of mind really is a theory. *Mind and Language*, 7, 145-171. doi:10.1111/j.1468-0017.1992.tb00202.x
- Gordon, J., Ghilardi, M. F., & Ghez, C. (1994). Accuracy of planar reaching movements. I. Independence of direction and extend variability. *Experimental Brain Research*, 99, 97-111.
- Gowen, E., Bradshaw, C., Galpin, A., Lawrence, A. & Poliakoff, E. (2010). Exploring visuomotor priming following biological and non biological stimuli. *Brain and cognition*, 74, 288-297.
- Grafton, S. T., & Hamilton, A. F. (2007). Evidence for a distributed hierarchy of action representation in the brain. *Human Movement Science*, 26, 590-616. doi: 10.1016/j.humov.2007.05.009.
- Gregg, M., Hall, C., Butler, A. (2010). The MIQ-RS: a suitable option for examining movement imagery ability. *Evidence based complementary and alternative medicine*, 7, 249-257.
- Grezes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12, 1-19.
- Grezes, J., Pichon, S., & De Gelder, B. (2007). Perceiving fear in dynamic body expressions. *NeuroImage*, 35, 959-967.
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: motor control, imagery, and perception. *Behavioral and brain sciences*, 27, 377-396.
- Hall, C. R., Martin, K. A. (1997). Measuring movement imagery abilities: a revision of the movement imagery questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, 21, 143-154.

- Hamilton, A. F. (2009). Goals, intentions and mental states: challenges for theories of autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50, 881–892. doi: 10.1111/j.1469-7610.2009.02098.x
- Hari, R., & Kujala, M. V. (2009). Brain Basis of Human Social Interaction: From Concepts to Brain Imaging. *Physiological Reviews*, 89, 453-479. doi: 10.1152/physrev.00041.2007
- Hasnain, S. K., Gaussier, P., & Mostafaoui, G. (2012). « Synchrony » as a way to choose an interacting partner. In 2012 IEEE International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (p. 1-6). San Diego, CA.
- Hassin, R. R., Aarts, H., & Ferguson, M. J. (2005). Automatic goal inferences. *Journal of Experimental Social Psychology*, 41, 129-140. doi: 10.1016/j.jesp.2004.06.008
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behaviour*. New York, NY: Wiley and Sons.
- Hecht, E. E., Patterson, R., & Barbey, A. K. (2012). What can other animals tell us about human social cognition? An evolutionary perspective on reflexive and reflective processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 224.
- Hecht, H., Vogt, S., & Prinz, W. (2001). Motor learning enhances perceptual judgment: A case for action–perception transfer. *Psychological Research*, 65, 3–14.
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, 57, 243–259.
- Herbort, O., Koning, A., van Uem, J. & Meulenbroek, R. G. J. (2012). The end-state comfort effect facilitates joint action. *Acta Psychologica*, 139, 404-416.
- Hermisdörfer, J., Hentze, S., & Goldenberg, G. (2006). Spatial and kinematic features of apraxic movement depend on the mode of execution. *Neuropsychologia*, 44, 1642-1652. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.023
- Hermisdörfer, J., Li, Y., Randerath, J., Goldenberg, G., & Johannsen, L. (2012). Tool use without a tool: kinematic characteristics of pantomiming as compared to actual use and the effect of brain damage. *Experimental Brain Research*, 218, 201-214. doi:10.1007/s00221-012-3021-z
- Heyes, C. M., Bird, G., Johnson, H., & Haggard, P. (2005) Experience modulates automatic imitation. *Cognitive Brain Research*, 22, 233-240
- Hillebrandt, H., Friston, K. J., & Blakemore, S. J. (2014). Effective connectivity during animacy perception - dynamic causal modelling of Human Connectome Project data. *Scientific Reports*, 4. doi: 10.1038/srep06240

- Hiromi, K., & Shiro, K. (1997). Unique Morphology of the Human Eye. *Nature*, 387, 767-768.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 849-878
- Howard, L. A., & Tipper, S. P. (1997). Hand deviations away from visual cues: indirect evidence for inhibition. *Experimental Brain Research*, 113, 144–152.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biology*, 3, 79.
- Innocenti, A., De Stefani, E., Bernardi, N. F., Campione, G. C., & Gentilucci, M. (2012). Gaze direction and request gesture in social interactions. *PLoS ONE*, 7, e36390. doi: 10.1371/journal.pone.0036390
- Jackson, D. E. (2007). Social spiders. *Current Biology*, 17, 650-652.
- Jackson, R. C., Warren, S., & Abernethy, B. (2006). Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement. *Acta psychologica*, 123, 355-371.
- Jacob, P. (2011). The direct-perception model of empathy: a critique. *Review of Philosophy and Psychology*. doi: 10.1007/s13164-011-0065-0.
- Jacob, P. (2013). Embodied cognition, communication and the language faculty. In Y. Coello & A. Bartolo (Eds.), *Language and Action in Cognitive Neuroscience* (pp. 3–29). New York: Psychology Press.
- Jacob, P., & Jeannerod, M. (2005). The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 21-25. doi: 10.1016/j.tics.2004.11.003
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14, 103–109. doi: 10.1006/nimg.2001.0832.
- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self*. New York: Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198569657.001.0001.
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Current Opinion in Neurobiology*, 5, 727-732.
- Johnson-Frey, S., McCarty, M. E., & Keen, R. (2004) Reaching beyond spatial perception: Effects of intended future actions on visually guided prehension. *Visual Cognition*, 11, 371-399.

- Joly-Mascheroni, R. M., Senju, A., & Shepherd, A. J. (2008). Dogs catch human yawns. *Biology Letters*, 4, 446-448.
- Kahneman, D. (2003). A Perspective on Judgment and Choice. *American Psychologist*, 58, 697-720. doi: 10.1037/0003-066X.58.9.697
- Kehmeier, S., Schloegl, C., Scheiber, I. B., & Weiss, B. M. (2011). Early development of gaze following into distant space in juvenile Greylag geese (Anseranser). *Animal Cognition*, 14, 477-485.
- Kilner, J. M., Friston, K. J., & Frith, C. D. (2007). Predictive coding: an account of the mirror neuron system. *Cognitive Processing*, 8, 159-166.
- Kilner, J. M., & Frith, C. D. (2007). Action observation: Inferring intentions without mirror neurons. *Current Biology*, 18, 2117-2121.
- Kilner, J. M., Paulignan, Y., & Blakemore, S-J. (2003). An interference effect of observed biological movement on action. *Current Biology*, 13, 522-525. doi: 10.1016 S0960-9822(03)00165-9
- Kim, J., Doop, M. L., Blake, R., & Park, S. (2005). Impaired visual recognition of biological motion in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 77, 299-307.
- Kim, J., Park, S., & Blake, R. (2011). perception of biological motion in schizophrenia and healthy individuals: a behavioral and fmri study. *PLoS ONE*, 6, e19971. doi: 10.1371/journal.pone.0019971
- Klinke, C. L. (1986). Gaze and eye contact: A research review. *Psychological Bulletin*, 100, 78-100.
- Knoblich, G. & Sebanz, N. (2008). Evolving intentions for social interaction: from entrainment to joint action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 2021-2031.
- Knoblich, G., & Flach, R. (2001). Predicting the effects of actions: Interactions of perception and action. *Psychological Science*, 12, 467-472.
- Kobayashi, H., & Kohshima, S. (1997). Unique morphology of the human eye. *Nature*, 387, 767-768.
- Krueger, J. (2011). Extended cognition and the space of social interaction. *Consciousness and Cognition*, 20, 643-657.
- Krüger, S., Sokolov, A. N., Enck, P., Krägeloh-Mann, I., & Pavlova, M. A. (2013). Emotion through Locomotion: Gender Impact. *PLoS ONE*, 8.

- Lacquaniti, F., Terzuolo, C., & Viviani, P. (1983). The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements. *Acta psychologica*, 54, 115–130.
- Lakin, J., & Chartrand, T. L. (2003). Using nonconscious behavioral mimicry to create affiliation and rapport. *Psychological Science*, 14, 334–339.
- Langton, S. R. H., Watt, R. J., & Bruce, V. (2000). Do the eyes have it? Cues to the direction of social attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 50–59.
- Leadbeater, E., & Chittka, L. (2007). Social learning in insects -- from miniature brains to consensus building. *Current Biology*, 17, 703–713.
- Lewkowicz, D., & Delevoye-Turell, Y. (2015). real-time motion capture toolbox (rtmocap): an open-source code for recording 3-D motion kinematics to study action-effect anticipations during motor and social interactions. *Behavior Research Methods*. doi: 10.3758/s13428-015-0580-5
- Lewkowicz, D., Delevoye-Turrell, Y., Bailly, D., Andry, P., & Gaussier, P. (2013). Reading motor intention through mental imagery. *Adaptive Behavior*, 21, 315–327.
- Lewkowicz, D., Quesque, F., Coello, Y., & Delevoye-Turrell, Y. (2015). Reading motor intention through mental imagery. *Frontiers in Psychology*. 6:1175. doi:10.3389/fpsyg.2015.01175.
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49, 764–766. doi: 10.1016/j.jesp.2013.03.013
- Liepelt, R., von Cramon, D. Y., & Brass, M. (2008). What is matched in direct matching? Intention attribution modulates motor priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 578–591.
- Lipps, T. (1903). Einfühlung, inner Nachahmung, und Organempfindungen. *Archiv für die gesamte Psychologie*, 1, 185–204.
- Loison, B., Moussaddaq, A. S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A. L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56, 157–173. doi: 10.1016/j.rehab.2013.01.001
- Long, D., & Golding, J. (1993). Superordinate goal inferences: Are they automatically generated during comprehension? *Discourse Processes*, 16, 55–74.

- Loretto, M. C., Schloegl, C., & Bugnyar, T. (2009). Northern bald ibises follow others' gaze into distant space but not behind barriers. *Biology Letters*, 6, 14–17.
- LouisDam, A., Orliaguet, J-P. & Coello, Y. (1999). Perceptual anticipation in grasping movement: When does it become possible? In M. G., Grealy & J. A., Thomson (Eds). *Studies in Perception and Action* (pp. 34-39). London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Maguinness, C., Setti, A., Roudaia, E., & Kenny, R. A. (2013). Does that look heavy to you? Perceived weight judgment in lifting actions in younger and older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. doi:10.3389/fnhum.2013.00795
- Mainwaring, B., Tversky, B., Ohgishi, M., Schiano, D. J. (2003). Descriptions of simple spatial scenes in English and Japanese. *Spatial Cognition and Computation*, 3, 3–42.
- Manera, V., Becchio, C., Cavallo, A., Sartori, L., & Castiello, U. (2011). Cooperation or competition? Discriminating between social intentions by observing prehensile movements. *Experimental Brain Research*, 211, 547-556.
- Manera, V., Del Giudice, M., Bara, B., G., Verfaillie, K., & Becchio, C. (2011). The Second-Agent Effect: Communicative Gestures Increase the Likelihood of Perceiving a Second Agent. *PLoS ONE*, 6, e22650. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0022650>
- Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., Jeannerod, M., Athenes, S., & Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 41, 365–378. doi: 10.1037/h0084157.
- Marteniuk, R. G., Leavitt J. L., MacKenzie C. L., & Athenes S. (1990). Functional relationships between grasp and transport components in a prehension task. *Human Movement Science*, 9, 149-176.
- McAler, P., & Pollick, F. E. (2008). Understanding intention from minimal displays of human activity. *Behavior Research and Methods*, 40, 830-839. Doi : 10.3758/BRM.40.3.830
- Méary, D., Chary, C., Palluel-Germain, R., & Orliaguet, J.-P. (2005). Visual perception of writing and pointing movements. *Perception*, 34, 1061–1067. doi:10.1068/p3388.
- Meeren, H. K. M., van Heijnsbergen, C., & de Gelder, B. (2005). Rapid perceptual integration of facial expression and emotional body language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 16518–16523. doi: 10.1073/pnas.0507650102

- Meltzoff, A. N. (1995). Understanding the intentions of others: Re-enactment of intended acts by 18-month-old children. *Developmental Psychology*, 31, 838-850.
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198, 75-78.
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1983). Newborn infants imitate adult facial gestures. *Child Development*, 54, 702-709.
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1989). Imitation in newborn infants: Exploring the range of gestures imitated and the underlying mechanisms. *Developmental Psychology*, 25: 954-962.
- Meltzoff, A., N., & Gopnik, A. (1993). The role of imitation in understanding persons and developing a theory of mind. In: S., Baron-Cohen, H., Tager-Flusberg, & D. J., Cohen, (Eds.) *Understanding other minds: Perspectives from autism* (pp. 335-366). New York: Oxford University Press.
- Messier, J., & Kalaska, J. F. (1999). Comparison of variability of initial kinematics and endpoints of reaching movements. *Experimental Brain Research*, 125, 139-152.
- Meulenbroek, R. G., J., Bosga, J., Hulstijn, M., & Miedl, S. (2007). Joint action coordination in transferring objects. *Experimental Brain Research*, 180, 333-343.
- Miall, R. C., & Wolpert, D. M. (1996). Forward models for physiological motor control. *Neural Networks*, 9, 1265-1279.
- Miller, L. E., & Saygin, A. P. (2013). Individual differences in the perception of biological motion: Links to social cognition and motor imagery. *Cognition*, 128, 140-148. doi: 10.1016/j.cognition.2013.03.013
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. (2009). Is the mirror neuron system involved in imitation? A short review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33, 975-980. doi: 10.1016/j.neubiorev.2009.03.010.
- Naish, K. R., Reader, A. T., Houston-Price, C., Bremner, A. J., & Holmes, N. P. (2012). To eat or not to eat? Kinematics and muscle activity of reach-to-grasp movements are influenced by the action goal, but observers do not detect these differences. *Experimental Brain Research*, 225, 261-275. doi: 10.1007/s00221-012-3367-2
- Newman-Norlund, R. D., Noordzij, M., Meulenbroek, R. G. J., & Bekkering, H. (2007). Exploring the brain basis of joint action: Co-ordination of actions, goals and intentions. *Social Neuroscience*, 2, 48-65.

- Newton, D., A., Engquist, G., & Bois, J. (1977). The objective basis of behavior units. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35, 847-862.
- Niedenthal, P. M., Barsalou, L. W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2005). Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Personality and Social Psychology Review*, 9, 184-211.
- Obhi, S. S. (2012). The amazing capacity to read intentions from movement kinematics. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 117. doi: 10.3389/fnhum.2012.00162.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Ondobaka, S., de Lange, F. P., Wiemers, M., Newman-Norlund, R. & Bekkering, H. (2012). Interplay Between Action and Movement Intentions During Social Interaction. *Psychological Science*, 23, 30-35.
- Onishi, K. H., & Baillargeon, R. (2005). Do 15-month-old infants understand false beliefs? *Science*, 308, 255-258.
- Orliaguet, J-P., Kandel, S. & Boë, L. J. (1997). Visual perception of motor anticipation in cursive handwriting: Influence of spatial and movement information on the prediction of forthcoming letters. *Perception*, 26, 905-912.
- Orliaguet, J-P., Viallon, S., Coello, Y., & Kandel, S. (1996). Perceptual anticipation in sequential grasping movements. *International Journal of Psychology*, 31, 419.
- Oztop, E., Wolpert, D., & Kawato, M. (2005). Mental state inference using visual control parameters. *Cognitive Brain Research*, 22, 129-151. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.08.004
- Palagi, E., Leone, A., Mancini, G. & Ferrari, P., F., (2009). Contagious yawning in gelada baboons as a possible expression of empathy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 19262-19267.
- Parron, C., Da Fonseca, D., Santos, A., Moore, D., Monfardini, E., & Deruelle, C. (2008). Recognition of biological motion in children with autistic spectrum disorders. *Autism*, 12, 261-274.
- Patel, D., Fleming, S. M., & Kilner, J. M. (2012). Inferring subjective states through the observation of actions. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 279, 4853-4860. <http://doi.org/10.1098/rspb.2012.1847>

- Paukner, A., Suomi, S. J., Visalberghi, E., & Ferrari, P. F. (2009). Capuchin monkeys display affiliation toward humans who imitate them. *Science*, 325, 880-883.
- Paulus, M. (2012). Action mirroring and action understanding: An ideomotor and attentional account. *Psychological Research*, 76, 760-767. doi: 10.1007/s00426-011-0385-9
- Pavlova, M. A. (2012). Biological motion processing as a hallmark of social cognition. *Cerebral Cortex*, 22, 981-995. doi:10.1093/cercor/bhr156
- Pennel, I., Coello, Y., & Orliaguet, J-P. (1999). Visual perception of motor anticipation in sign language. In M. G. Grealy & J. A. Thomson (Eds.), *Studies in Perception and Action* (pp. 144-148). London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Piaget, J. (1962). *Play, Dreams and Imitation in Childhood*. New York: Norton.
- Platek, S. M., Critton, S. R., Myers, T. E., & Gallup, G. G. (2003). Contagious yawning: the role of self-awareness and mental state attribution. *Cognitive Brain Research*, 17, 223–227.
- Pollick, F. E., Paterson, H. M., Bruderlin, A., & Sanford, A. J. (2001). Perceiving affect from arm movement. *Cognition*, 82, 51–61.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 32, 3–25.
- Poynor, D. V., & Morris, R. K. (2003). Inferred goals in narratives: Evidence from self-paced reading, recall, and eye movements. *Journal of Experimental Psychology – Learning Memory and Cognition*, 29, 3–9.
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1, 515–526.
- Preston, S. D., & de Waal, F. B. M. (2002). Empathy: Its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 1–72.
- Prevost, M., Carrier, M. E., Chowne, G., Zelkowitz, P., Joseph, L., & Gold, I. (2014). The Reading the Mind in the Eyes test: validation of a french version and exploration of cultural variations in a multi-ethnic city. *Cognitive Neuropsychiatry*, 19, 189-204. doi: 10.1080/13546805.2013.823859
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129–154.
- Provine, R. R. (1986). Yawning as a stereo-typed action pattern and releasing stimulus. *Ethology*, 72, 109-122.

- Pryde, K. M., Roy, E. A., & Campbell, K. (1998). Prehension in children and adults: the effects of object size. *Human Movement Science*, 17, 743–752.
- Quesque, F., & Coello, Y. (2014). For your eyes only: effect of confederate's eye level on reach-to-grasp action. *Frontiers in Psychology*, 5. doi:10.3389/fpsyg.2014.01407
- Quesque, F., & Coello, Y. (2015). Perceiving what you intend to do from what you do: Evidence for embodiment in social interactions. *Socioaffective Neuroscience & Psychology*.
- Quesque, F., Lewkowicz, D., Delevoye-Turrell, Y. N., & Coello, Y. (2013). Effects of social intention on movement kinematics in cooperative actions. *Frontiers in Neurorobotics*, 7, 14. doi: 10.3389/fnbot.2013.00014
- Qureshi, A. W., Apperly, I. A., & Samson, D. (2010). Executive function is necessary for perspective selection, not Level-1 visual perspective calculation: Evidence from a dual-task study of adults. *Cognition*, 117, 230-236. doi: 10.1016/j.cognition.2010.08.003
- Rand, M. K., Alberts, J. L., Stelmach, G. E. & Bloedel, J. R. (1997). The influence of movement segment difficulty on movements with 2-stroke sequence. *Experimental Brain Research*, 115, 137-146.
- Range, F., & Viranyi, Z. (2011). Development of gaze following abilities in wolves (Canis lupus). *PLoS ONE*, 6, e16888. doi:10.1371/journal.pone.0016888
- Richerson, P. J., & Boyd, R. (1998). The evolution of human ultra-sociality. In I. Eibl-Eibesfeldt & F. Salter (Eds.), *Ideology, warfare, and indoctrinability* (pp. 71-95). New York: Berghen Books.
- Rimé, B., Boulanger, B., & Laubin, P. (1985). The perception of interpersonal emotions originated by patterns of movement. *Motivation and Emotion*, 9, 241–260.
- Rizzolatti G., & Craighero L. (2004). The Mirror-Neuron System. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.
- Roelofs, K., Hagenars M. A., & Stins J. (2010). Facing freeze: social threat induces bodily freeze in humans. *Psychological Science*, 21, 1575-1581.
- Rosati, A. G., & Hare, B. (2009). Looking past the model species: diversity in gaze-following skills across primates. *Current Opinion in Neurobiology*. 19, 45–51.
- Rosenbaum, D. A. & Jorgensen, M. (1992). Planning macroscopic aspects of manual control. *Human Movement Science*, 11, 61-69.

- Rosenbaum, D. A., Marchak, F., Barnes, H. J., Vaughan, J., Slotta, J. D., & Jorgensen, M. J. (1990). Constraints for action selection: Overhand versus underhand grips. In M. Jeannerod (Ed.), *Attention and performance, Vol. XIII*. (pp. 321–345). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Runeson, S., & Frykholm, G. (1983). Kinematic specification of dynamics as an informational basis for person-and-action perception: expectation, gender recognition, and deceptive intention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *112*, 585.
- Ruys, K. I., & Aarts, H. (2010). When competition merges people's behavior: Interdependency activates shared action representations. *Journal of Experimental Social Psychology*, *46*, 1130-1133. doi: 10.1016/j.jesp.2010.05.016
- Samson, D., Apperly, I. A., Braithwaite, J. J., Andrews, B. J., & Bodley Scott, S. E. (2010). Seeing it their way: evidence for rapid and involuntary computation of what other people see. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*, 1255-1266. doi: 10.1037/a0018729
- Sartori, L., Becchio, C., & Castiello, U. (2011). Cues to intention: The role of movement information. *Cognition*, *119*, 242-252. doi: 10.1016/j.cognition.2011.01.014
- Sartori, L., Becchio, C., Bara, B. G., & Castiello, U. (2009). Does the intention to communicate affect action kinematics? *Consciousness and Cognition*, *18*, 766-772. doi: 10.1016/j.concog.2009.06.004
- Sartori, L., Becchio, C., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2009). Modulation of the action control system by social intention: unexpected social requests override preplanned action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*, 1490–1500.
- Sato, W., Okada, T., & Toichi, M. (2007). Attentional shift by gaze is triggered without awareness. *Experimental Brain Research*, *183*, 87–94.
- Saxe, R. (2005). Against simulation: The argument from error. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*, 174-179.
- Saxe, R., & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people: The role of the temporo-parietal junction in “theory of mind”. *NeuroImage*, *19*, 1835-1842. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00230-1
- Schilbach, L. (2010). A second-person approach to other minds. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*, 449-449. doi: 10.1038/nrn2805-c1

- Schloegl, C., Kotrschal, K., & Bugnyar, T. (2008). Do common ravens (*Corvuscorax*) rely on human or conspecific gaze cues to detect hidden food? *Animal Cognition*, *11*, 231–241.
- Schneider, B. H., Benenson, J., Fülöp, M., Berkics, M. & Sandor, M. (2011). Cooperation and Competition. In P. K., Smith, & H. H., Craig, (Eds.), *The Wiley-Blackwell Handbook of Childhood Social Development* (pp. 472-490). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Scholl, B. J., & Tremoulet, P. D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 299–309.
- Schuboe, A., Maldonado, A., Stork, S., & Beetz, M. (2008). Subsequent actions influence motor control parameters of a current grasping action. In: The 17th IEEE international symposium on robot and human interactive communication, RO-MAN 2008, 389–394.
- Scorolli, C., Miatton, M., Wheaton, L., Borghi, A. M. (2014). I give you a cup, I get a cup: A kinematics study on social intention. *Neuropsychologia*, *57*, 196-204. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.03.006
- Searle, J. (1983). *Intentionality: an essay in the philosophy of mind*. Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9781139173452.
- Sebanz, N., & Knoblich, G. (2009). Prediction in Joint Action: What, When, and Where. *Topics in Cognitive Science*, *1*, 353-367. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01024.x
- Sebanz, N., & Shiffrar, M. (2009). Detecting deception in a bluffing body: The role of expertise. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*, 170-175. doi: 10.3758/PBR.16.1.170
- Shadmehr, R., & Mussa-Ivaldi, F. A. (1994). Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *The Journal of Neuroscience*, *14*, 3208–3224.
- Shah, J. Y. (2003). The motivational looking glass: How significant others implicitly affect goal appraisals. *Journal of personality and social psychology*, *85*, 424-439.
- Singer, T., Kiebel, S. J., Winston, J. S., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2004). Brain responses to the acquired moral status of faces. *Neuron*, *41*, 653–662. doi: 10.1016/S0896-6273(04)00014-5
- Singer, T., Kiebel, S. J., Winston, J. S., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2004). Brain responses to the acquired moral status of faces. *Neuron*, *41*, 653–662.
- Sinigaglia, C. (2013). What type of action understanding is subserved by mirror neurons? *Neuroscience Letters*, *540*, 59-61. doi: 10.1016/j.neulet.2012.10.016.

- Sokolov, A. A., Gharabaghi, A., Tatagiba, M. S., & Pavlova, M. (2010). Cerebellar engagement in an action observation network. *Cerebral Cortex*, 20, 486–491. doi: 10.1093/cercor/bhp117
- Sokolov, A. A., Krüger, S., Enck, P., Krägeloh-Mann, I., & Pavlova, M. A. (2011). Gender affects body language reading. *Frontiers in psychology*, 2.
- Spaulding, S. (2012). Introduction to debates on embodied social cognition. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 11, 431-448.
- Spaulding, S. (2015). On Direct Social Perception. *Consciousness and Cognition*. doi:10.1016/j.concog.2015.01.003
- Springer, A., Hamilton, A. F. de C., & Cross, E. S. (2012). Simulating and predicting others' actions. *Psychological Research*, 76, 383-387.
- Spunt, R. P., & Lieberman, M. D. (2013). The busy social brain: evidence for automaticity and control in the neural systems supporting social cognition and action understanding. *Psychological Science*, 24, 80-86. doi: 10.1177/0956797612450884
- Stapel, J. C., Hunnius, S., & Bekkering, H. (2012). Online prediction of others' actions: the contribution of the target object, action context and movement kinematics. *Psychological Research*, 76, 434-445. doi: 10.1007/s00426-012-0423-2
- Steinhorst, A., & Funke, J. (2014). Mirror neuron activity is no proof for action understanding. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1-4. doi: 10.3389/fnhum.2014.00333
- Streuber, S., Knoblich, G., Sebanz, N., Bülthoff, H. H., & de la Rosa, S. (2011). The effect of social context on the use of visual information. *Experimental Brain Research*, 214, 273-284.
- Teglas, E., Gergely, A., Kupan, K., Miklosi, A., & Topal, J. (2012). Dogs' gaze following is tuned to human communicative signals. *Current Biology*, 22, 209–212.
- Todorov, E. (2004). Optimality principles in sensorimotor control. *Nature Neuroscience*, 7, 907-915.
- Toma, C., Yzerbyt, V. Y., & Corneille, O. (2010). Anticipated cooperation vs. competition moderates interpersonal projection. *Journal of Experimental Social Psychology*, 46, 375-381.
- Tomasello, M. (2009). *Why We Cooperate*. Cambridge: The MIT Press.

- Tomasello, M., Hare, B., Lehmann, H., & Call, J. (2007). Reliance on head versus eyes in the gaze following of great apes and human infants: the cooperative eye hypothesis. *Journal of Human Evolution*, 52, 314–320.
- Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2000). Perception of animacy from the motion of a single object. *Perception*, 29, 943-951. doi: 10.1068/p3101
- Troje, N. F., Westhoff, C., & Lavrov, M. (2005). Person identification from biological motion: Effects of structural and kinematic cues. *Perception & Psychophysics*, 67, 667–675.
- Tversky, B., & Martin Hard, B. (2009). Embodied and disembodied cognition: Spatial perspective taking. *Cognition*, 110, 124-129.
- Uithol, S., Haselager, W. F. G., & Bekkering, H. (2008). When do we stop calling them mirror neurons? *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. (pp. 1783-1788).
- Uithol, S., van Rooij, I., Bekkering, H., & Haselager, P. (2011). Understanding motor resonance. *Social Neuroscience*, 6, 388-397
- Umiltà, M. A., Escola, L., Intskirveli, I., Grammont, F., Rochat, M., Caruana, F., Jezzini, A., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2008) How pliers become fingers in the monkey motor system. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 105, 2209-2213
- Umiltà, M., A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2001). ‘I know what you are doing’: a neurophysiological study. *Neuron*, 32, 91-101
- Vallacher, R., R., & Wegner, D., M. (1987). What do people think they’re doing? Action identification and human behavior. *Psychological Review*, 94, 3–15.
- Van Beers, R. J., Haggard, P., & Wolpert, D. M. (2004). The role of execution noise in movement variability. *Journal of Neurophysiology*, 91, 1050–1063. doi:10.1152/jn.00652.2003.
- Van Der Wel, R. P. & Rosenbaum, D., A. (2007). Coordination of locomotion and prehension. *Experimental Brain Research*, 176, 281-287.
- Van der Wel, R. P., Sebanz, N. & Knoblich, G. (2014). Do people automatically track others' beliefs? Evidence from a continuous measure. *Cognition*, 130, 128-133.
- Van Overwalle, F., & Baetens, K. (2009). Understanding others' actions and goals by mirror and mentalizing systems: A meta-analysis. *NeuroImage*, 48, 564–584. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.06.009

- Vesper, C., Butterfill, S., Knoblich, G. & Sebanz, N. (2010). A minimal architecture for joint action. *Neural Networks*, 23, 998–1003.
- Vesper, C., & Richardson, M. (2014). Strategic communication and behavioral coupling in asymmetric joint action. *Experimental Brain Research*, 232, 2945-2956.
- Vesper, C., Soutschek, A., & Schubö, A. (2009). Motion coordination affects movement parameters in a joint pick-and-place task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 2418-2432.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the Behaviorist Views it. *Psychological Review*, 20, 158-177.
- Watve, M., Thakar, J., Kale, A., Puntambekar, S., Shaikh, I., Vaze, K., Jog, M., & Paranjape, S. (2002). Bee-eaters (*Merops orientalis*) respond to what a predator can see. *Animal cognition*, 5, 253-259.
- Wegner, D., M., & Vallacher, R., R. (1986). Action identification. In R. M. Sorrentino & E. T. Higgins (Eds.), *Handbook of motivation and cognition: Foundations of social behavior* (pp. 550–582). New York: Guilford Press.
- Wilkinson, A., Kuenstner, K., Mueller, J., & Huber, L. (2010). Social learning in a non-social reptile (*Geochelone carbonaria*). *Biology Letters*, 6, 614–616.
- Wilkinson, A., Mandl, I., Bugnyar, T., & Huber, L. (2010). Gaze following in the red-footed tortoise (*Geochelone carbonaria*). *Animal cognition*, 13, 765–769.
- Williams, A., M., Huys, R., Cañal-Bruland, R., & Hagemann, N. (2009). The dynamical information underpinning anticipation skill. *Human Movement Science*, 28, 362–370.
- Wilson, E., O. (1975). *Sociobiology: The new synthesis*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin Review*, 9, 625–636.
- Wilson, M., & Knoblich, G. (2005). The case for motor involvement in perceiving conspecifics. *Psychological Bulletin*, 131, 460–473. doi: 10.1037/0033-2909.131.3.460.
- Wilson, M., & Knoblich, G. (2005). The case for motor involvement in perceiving conspecifics. *Psychological Bulletin*, 131, 460-473.
- Wiltshire, T. J., Lobato, E. J. C., McConnell, D. S., & Fiore, S. M. (2015). Prospects for direct social perception: a multi-theoretical integration to further the science of social

- cognition. *Frontiers in Human Neurosciences*, 8, 1007. doi: 10.3389/fnhum.2014.01007
- Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13, 103–128.
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11, 729–732.
- Wolpert, D. M., & Kawato, M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks*, 11, 1317–1329.
- Wolpert, D. M., Doya, K., & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358, 593–602.
- Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science-AAAS-Weekly Paper Edition*, 269, 1880–1882.
- Wood, J. N., Glynn, D. D., & Hauser, M. D. (2007). The uniquely human capacity to throw evolved from a non-throwing primate: an evolutionary dissociation between action and perception. *Biology Letters*, 3, 360–364. doi: 10.1098/rsbl.2007.0107
- World Medical Organization (1996). Declaration of Helsinki. *British Medical Journal*, 313, 1448–1449.
- Wu, D.W.-L., Bischof, W. F. & Kingstone, A. (2014). Natural gaze signaling in a social context. *Evolution & Human Behavior*, 35, 211–218.
- Zahavi, D. (2011). Empathy and direct social perception. *Review of Philosophy and Psychology*, 2, 541–558.
- Zajonc, R. B. (1965). Social facilitation. *Science*, 149, 269–274.

ANNEXES

CONTRIBUTION OF MOVEMENT RESEARCH TO SOCIOAFFECTIVE NEUROSCIENCE AND PSYCHOLOGY

Perceiving what you intend to do from what you do: evidence for embodiment in social interactions

Francois Quesque, PhD student and Yann Coello, Professor*

UMR CNRS 9193 SCALab, University of Lille, Lille, France

Although action and perception are central components of our interactions with the external world, the most recent experimental investigations also support their implications in the emotional, decision-making, and goal ascription processes in social context. In this article, we review the existing literature supporting this view and highlighting a link between reach-to-grasp motor actions and social communicative processes. First, we discuss the most recent experimental findings showing how the social context subtly influences the execution of object-oriented motor actions. Then, we show that the kinematic characteristics of object-oriented motor actions are modulated by the actor's social intention. Finally, we demonstrate that naïve observers can implicitly take advantage of these kinematic effects for their own motor productions. Considered together, these data are compatible with the embodied cognition framework stating that cognition, and in our case social cognition, is grounded in knowledge associated with past sensory and motor experiences.

Keywords: *perception; motor action; social intention; embodiment; kinematics*

Responsible Editors: Thierry Lelard and Harold Mouras, Université de Picardie Jules Verne, France.

Received: 20 May 2015; Accepted: 13 July 2015; Published: 4 August 2015

Compared to the vast majority of species in the animal kingdom, humans are very peculiar for the complexity of their social life (Wilson, 1975). In particular, human beings have developed the strong ability to adapt their behaviour as a function of the social context and to learn very quickly from observing conspecifics (Richerson & Boyd, 1998). Considering others' behaviour purposely has furthermore resulted in the remarkable propensity to infer others' intentions and mental states from their observable actions (Barresi & Moore, 1996). As a consequence, individuals engaged in social interactions tend to encode the behaviour of others in terms of their goal and meaning (Newson, Engquist, & Bois, 1977; Vallacher & Wegner, 1987; Wegner & Vallacher, 1986), even when facing extremely rudimentary information as motion of abstract representation of social agents (Gergely, Nadasdy, Csibra, & Biro, 1995; Heider & Simmel, 1944; McAleer & Pollick, 2008; Rimé, Boulanger, & Laubin, 1985; Scholl & Tremoulet, 2000; Tremoulet & Feldman, 2000) or when reading text describing others' actions (Hassin, Aarts, & Ferguson, 2005; Long & Golding, 1993; Poynor & Morris, 2003). Interestingly, goal ascription of observed actions occurs very early in life (Meltzoff, 1995; Meltzoff & Gopnik, 1993) and seems to happen without the need of explicit control of attention or conscious processing (Hassin, Aarts & Ferguson, 2005).

Furthermore, growing evidence suggests that people do not only infer the underlying goals of others actions through the observation of their motor behaviour, but they also tend to unconsciously adopt these goals and produce congruent actions (Brass, Bekkering, Wohlschläger, & Prinz, 2000; Chartrand & Bargh, 1999; Kilner, Paulignan, & Blakemore, 2003; Liepelt, Cramon, & Brass, 2008; Ondobaka, de Lange, Newman-Norlund, Wiemers, & Bekkering, 2011; Sebanz, Knoblich, & Prinz, 2003). In the field of social psychology, this well-known 'goal contagion' effect is thought to be highly adaptive by allowing individuals to appreciate the motivational reasons guiding others explicit behaviour and then anticipate their consequence and prepare to react (Aarts, Gollwitzer, & Hassin, 2004). Although yet debated (Goldman & Vignemont, 2009), such spontaneous goal inference and activation of action tendencies in social situations may find their roots in unconscious embodied simulation processes (Gallese, 2003). According to the embodied framework, observed purposeful behaviour is interpreted and anticipated through simulation processes in the perceiver, which create a link between the observed action and the observer motor system. Supporting this view, recent works have suggested that evaluative responses can spontaneously emerge from embodied states, notably in a social context (Barsalou, 2003, 2008). These evaluations

– driven by bottom-up processes – may automatically emerge from the activation of internal states linked to perception and elicit motor responses in relation to a specific intentional context. Our ability to predict the intention that drives another person's action could then strongly rely on low-level mechanisms such as sensory-motor integration.

A fundamental distinction in our ability to read others' mental states has however been made by Jacob and Jeannerod (2005). They stated that motor intentions (the intended effect of a goal-directed action in the environment) could be accurately inferred from the mere observation of voluntary motor actions. For instance, grasping a glass to bring it to a new position or to throw it away results in a different kinematic pattern of the reach-to-grasp action (Marteniuk, MacKenzie, Jeannerod, Athenes, & Dugas, 1987). By contrast, Jacob and Jeannerod (2005) suggested that social intentions (the intended effect of a goal-directed action on conspecifics) cannot be inferred from the mere observation of a voluntary motor action because different social intentions can be associated with the very same motor intention.¹ For instance, grasping a glass of wine on the table at the end of a ceremony is thought to be independent of whether the intention is to drink the wine (individual intention) or to offer it to a friend waiting behind (social intention). Thus, the point emphasised by Jacob and Jeannerod was that motor intentions are identifiable from observed motor actions, but social intentions are obviously not.

However, recent data have challenged this view by showing that the social context also impacts on movement kinematics (for reviews see, Ansuini, Cavallo, Bertone, & Becchio, 2014; Becchio, Sartori, & Castiello, 2010). Ansuini et al. (2014) argued that by confronting internal predictions derived from the context of observed actions, it is in principle possible for a perceiver to identify social intentions from observed goal-directed motor actions. Their claim was that humans highlight specific kinematic signatures when intending to interact with conspecifics, which is thought to be one aspect of the communicative processes. Importantly, these spatio-temporal variations must be consistent to confer a benefit in multi-agent cooperative tasks. In support of this, we review in this paper the most recent findings showing that the very same

action can be performed differently in function of the social context and the social intention endorsed by the actor, even when the motor intention is critically identical. In the first place, we will discuss experimental works showing how the social context subtly influences the execution of an object-oriented motor action. Then, we will show that the kinematic characteristics of an object-oriented motor action are modulated by the actor's social intention. Finally, we will demonstrate that naïve observers can implicitly infer the social intention that drives motor action and take advantage from these kinematics effects for their own motor productions.

Effect of the social context on goal-directed motor performances

During the last decades, numerous studies have investigated the role of social context on the planning and execution of a voluntary motor action. Initially, researchers have contrasted movements performed in the presence of a partner involved in the experimental task, to similar movements executed in isolation or in the presence of a passive observer (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008b; Georgiou, Becchio, Glover, & Castiello, 2007; Quesque, Lewkowicz, Delevoye-Turrell, & Coello, 2013). A particular interest was also accorded to the characteristics of the partner and to the role of the relationship between the different agents participating in the experimental situation (Becchio, Sartori, Bulgheroni, & Castiello, 2008a; De Stefani, Innocenti, Secchi, Papa, & Gentilucci, 2013; Gianelli, Scorolli, & Borghi, 2013). Because a voluntary motor action is mainly determined by the target object's characteristics and action goal, motor performances were thought to be independent of whether the motor task was performed in the presence or absence of other individuals, whatever their characteristics. Contrasting with this assumption, Quesque et al. (2013) found that the kinematic characteristics of a reach-to-grasp action were modulated by the relative position of a partner (see also, Becchio et al., 2008b; Gianelli et al., 2013). Precisely, the motor action was not influenced by the mere presence of a partner located far from the table but was influenced by the partner when she was located close enough to be able to intervene on the target object. In the latter situation, participants performed more fluent movements, with lower acceleration peaks and with longer reaction times. Interestingly, an effect of the social condition was also found on the action performed to position the target object before the main action (preparatory action, Quesque et al., 2013). This indicates that the social context influences all actions that are performed even when they are irrelevant according to the goal of the task.

Furthermore, Gianelli et al. (2013) demonstrated that life experience shared between individuals also influences movement kinematics in reach-to-grasp action. Precisely,

¹This refers to the well-known Dr. Jekyll and Mr. Hyde paradox, as described by Jacob and Jeannerod (2005). In the novella written by Robert Louis Stevenson, Dr. Jekyll, alias Mr. Hyde, is a renowned surgeon who performs appendectomies on his anaesthetised patients, to heal them during the day but to murder them during the night. He then executes the same motor action during the day and at night, whereby he grasps his scalpel and applies it to the same bodily part of two different persons. According to Jacob and Jeannerod, Dr. Jekyll's motor intention is the same as Mr. Hyde's, although Dr. Jekyll's social intention (treating patients) clearly differs from Mr. Hyde's social intention (murdering victims). Social intention was thus thought to be hardly identifiable from movement characteristics.

reaching movements were performed more slowly in the presence of a friend than a recently met confederate. The attitude of the partner during the interaction was also found to influence the execution of the grasping action (Becchio et al., 2008a) as well as the type of gesture expressed by the partners' even when no social interaction was expected (De Stefani et al., 2013; Ferri, Campione, Dalla Volta, Gianelli, & Gentilucci, 2011). For example, participants reacted faster when facing an actor performing a 'stop' gesture than a 'give me in the hand' gesture. These last results could be related to the communicative intention implicitly endorsed by participants (Sartori, Becchio, Bara, & Castiello, 2009), and may thus reflect a tendency in humans to spontaneously engage in a communication process when placed in a social interaction context.

How does social intention shape our motor actions?

Among all the social factors thought to influence movement's kinematics, social intention has received a particular attention in the field of motor behaviour. As mentioned above, social intention was defined by Jacob and Jeannerod (2005) as the 'intention to affect a conspecific's behaviour' (pp. 22). According to these authors, different levels of intention are subordinate. Among them, motor intention – or intention in action – refers to the implementation of the execution of voluntary action, as for example displacing a glass at the centre of the table. However, more abstract private intentions can also be at the origin of this motor intention. For instance, a glass can be put at the centre of the table in order to increase the size of our close workspace, or in order to allow another person to reach it. In such situation, the spatial constraints of the task influence movement parameters, and this can be anticipated by the observer (Lewkowicz, Delevoye-Turrell, Bailly, Andry, & Gaussier, 2013; Marteniuk et al., 1987; Méary, Chary, Palluel-Germain, & Orliaguet, 2005). However, because this is the very same action that would be used to serve personal and social concerns, it was postulated that even if it is possible for an observer to detect motor intention from movement kinematics, she would be by no means able to detect social intention (Jacob & Jeannerod, 2005; de Vignemont & Haggard, 2008).

Becchio et al. (2008b) were the first to experimentally investigate this issue. They requested participants to perform a reach-to-grasp action towards an egg-shaped object and to put it in a concave base (individual condition) or to put it in the opened hand of a partner seated at the table near to the participants (social condition). By comparing the kinematic profiles between these two conditions, they observed that when participants performed the reach-to-grasp movement in the social context, they tended to perform more curved trajectories and to produce actions with longer movement duration, com-

pared to the individual condition. Though this might be viewed as an effect of social intention on motor performance, Jacob (2013) pointed out that the characteristics of a transitive action is known to be affected by the perceptual complexity of the landing site, leaving open the issue of the effect of social intention of motor performances. To investigate the effect of social intention more deeply, it was needed to modulate the social intention of a reach-to-grasp action while keeping unchanged the physical constraints of the task. This is explicitly what Quesque et al. (2013) tested, by comparing the effect of social intention in a sequential motor task. In their study, participants performed a preparatory action (consisting of displacing an object from a nearby to a central location) before performing a main action (consisting of displacing the object from the central to a lateral location). Only the main action was performed under temporal constraints (above 80% of the possible maximum speed, see Fig. 1). By informing the participant before the execution of the preparatory action about who will subsequently perform the main action, it was possible to impose the realisation of the same motor action towards the same physical target, but with different social intentions (placing the object at the central location for a subsequent personal use or for another person). Analysing kinematic profiles of the preparatory action, Quesque et al. (2013) observed that compared to the movements performed with a personal intention, movements performed with a social intention had longer durations, higher elevations, and longer reaction times, demonstrating that social intention modulates kinematics characteristics of a goal-directed action even when the physical constraints of the task are kept unchanged.

Temporal and kinematic variations observed in voluntary motor actions when participants endorse a social intention could be interpreted as a tendency in social context to implicitly provide informative signals to conspecifics about the current aim of a motor action (Sartori et al., 2009). In accordance with this view, Quesque et al. (2013) suggested that such exaggerations of the movement characteristics (slower actions and higher amplitudes) in interactive context could be implicitly implemented in order to attract the partner's attention and give her time to prepare an adaptive motor response and cooperate appropriately. This interpretation is supported by the finding that humans tend to increase the amplitude of their movements when performing intentional communicative object-related actions compared to non-communicative object-related actions (Hermsdörfer, Hentze, & Goldenberg, 2006; Hermsdörfer, Li, Randerath, Goldenberg, & Johannsen, 2012). Moreover, it has been shown that when pointing an object to a partner with the arm, the pointing trajectories vary in relation to the relative location of conspecific (Cleret de Langavant et al., 2011). The exaggeration of the vertical amplitude of the grasping movement

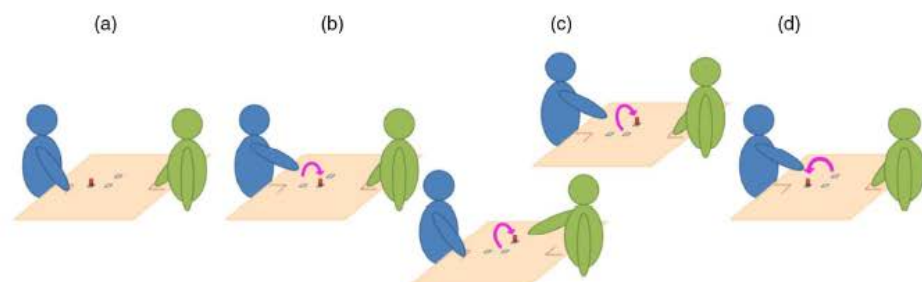


Fig. 1. Representation of the actions' sequence in the study of Quesque et al. (2013). The sequence always started with the wooden dowel placed on a nearby location and with the participant (in blue) and the partner (in green) pinching their index finger and thumb together on their respective starting positions (a). The Preparatory Action (b) consisted of displacing the wooden dowel from the nearby to the central location and was always performed by the participant, with no temporal constraint. The Main Action (c) consisted of displacing the wooden dowel from the central to the lateral location and could be performed either by the participant or by her partner, under strict temporal constraint. Finally, the Repositioning Action (d) was always performed by the participant and consisted of displacing the wooden dowel from the lateral to the nearby location, making the setup ready for the next trial.

observed in socially-motivated actions could then reflect a specific allocation of attention to both the object to be grasped and the partner, the two constituting relevant sources of information in interaction context. In this respect, numerous studies have underlined the predominant role of gaze in social interactions (Argyle & Cook, 1976; Becchio, Bertone, & Castiello, 2008; Kleinke, 1986; Langton, Watt, & Bruce, 2000). It was also shown that not only the availability of the partner's gaze influences individual behaviour (De Stefani et al., 2013; Ferri et al., 2011; Innocenti, De Stefani, Bernardi, Campione, & Gentilucci, 2013), but also gaze's direction (Boucher et al., 2012), which is a reliable indicator of the intention to interact (Allison, Puce, & Mc Carthy, 2000; George & Conty, 2008; Senju & Johnson, 2009).

In this context, Quesque and Coello (2014) tested the role of a partner's eye level on the social modulation of the trajectory curvature in a sequential motor task. An experimental paradigm similar to the one depicted in Fig. 1 was used, composed of a preparatory action always performed by the participant and a main action performed by either the participant or the partner (the experimenter in this study). In addition, the eye level of the partner was manipulated using an adjustable seat before the introduction of the participants to the experimental room. Participants came to the laboratory to perform the same task in two different sessions on different days (they were told that the researchers were interested in motor-learning abilities as a cover story). In one of the sessions, the partner was seated at the same height as the participant, whereas in the other session he was seated 5 cm higher. Results corroborated previous findings (Quesque et al., 2013) concerning the effect of endorsing a social intention, with an exaggeration of the temporal and spatial characteristics of the preparatory action. More interestingly, the spatial parameters of the

preparatory action were found to be influenced by the relative eye level of the partner. The higher the partner eye level, the more the participants exaggerated the vertical curvature of their movements. These results confirm that a particular attention is allocated to human bodies when performing motor actions in a social context (Cleret de Langavant et al., 2012) and also supports that the presence of conspecifics automatically leads to considering their perspective (Mainwaring, Tversky, Ohgishi, & Schiano, 2003; Tversky & Martin Hard, 2009; Qureshi, Apperly, & Samson, 2010; Samson, Apperly, Braithwaite & Andrews, 2010) and to process objects in the environment with reference to them (Becchio, Bertone & Castiello, 2008). Finally, gaze direction which is known to be a highly valuable stimulus in social context, seems to induce in participants a particular attention resulting in a distortion of motor responses when they have the intention to socially interact, in accordance with other data (Chieffi et al., 2014). Considered together, these experiments support that the exaggerations of movement characteristics in a social interactive context are implemented in relation to the partner's body properties. Because these alterations are not supposed to carry a benefit at the individual level, one may postulate that these variations are produced in order to facilitate partner's detection of social goals of planned actions, and thus to enhance intuitive interactions between social agents.

Are humans sensitive to socially-induced modulation of motor actions?

Being able to predict the actions of others represents a key ability for appropriate and efficient social interactions. Sport activity is the perfect illustration, as underlined by Hari and Kujala (2009). In football, for example, when willing to catch the ball the goalkeeper has to start moving before the ball is kicked and thus anticipate the

goal of the player well before the entire execution of the action. Previous laboratory studies have shown that humans are very sensitive to kinematics variations of biological movements and are able to accurately – though often implicitly – anticipate a lot of information from movement observations. An object's weight for instance can be evaluated through movement kinematics of a partner manipulating a (non-visible) object (Maguinness, Setti, Roudaia, & Kenny, 2013; Meulenbroek, Bosga, Hulstijn, & Miedl, 2007; Runeson & Frykholm, 1983). It is also possible to detect the deceptive intentions of a person performing an object-related action or even to have an idea of what weight the actor expected the object to be (Runeson & Frykholm, 1983). Moreover, when observing an action performed by someone else, it is also possible to detect the motor intention guiding that action from the very beginning of its execution (Lewkowicz et al., 2013; Méary, Chary, Palluel-Germain, & Orliaguet, 2005). In their study, Lewkowicz et al. (2013) presented short videos clips of object-directed arm reaching movements to naïve participants. Their task was to answer after each presentation whether the object in the video was reached by the actor to be placed either at the centre of the table, at the other side of the table, or close to them (the second part of the action was not shown). Results revealed that participants were able to anticipate the end-result of the grasping action from its early kinematic variations. Finally, recent works have shown that not only motor intention but also private mental states (Patel, Fleming, & Kilner, 2012) or even social intentions (Manera, Becchio, Cavallo, Sartori, & Castiello, 2011; Sartori, Becchio, & Castiello, 2011) can be perceived from observed motor performances. In these studies, the authors analysed participants' ability to detect action intention in temporal-occlusion video tasks. Participants were asked to discriminate between reach-to-grasp movements performed at fast or slow speed and reach-to-grasp movement performed with the intention to cooperate or to compete with a partner. Participants were able to correctly categorise the observed motor action performed with different social intentions, and interestingly, their performances were not altered by the presentation of point-light display versions of the videos stimuli (Manera et al., 2011), confirming thus that their perception was essentially based on kinematic information. A recent work led by Lewkowicz, Quesque, Coello and Delevoye-Turrell (in press) corroborates these conclusions. The authors asked their participants to explicitly categorise short video clips of actors performing a sequential motor task while endorsing social or personal intentions. The sequential task was that used by Quesque et al. (2013), consisting of a preparatory and a main grasping action (see Fig. 1). Only the preparatory action was shown in the videos. Furthermore, only the arm of the actors was visible in order to avoid any effect

associated with posture or gaze variations (Sartori et al., 2011). In two distinct experiments, the authors observed that participants were able to correctly classify the stimuli in function of the social/personal intention of the actor. Moreover, to assess whether kinematic variations in the videos clips were determinant in the detection of social intention, video clips were normalised to control for variations of reaction time and movement time. Results showed that the detection of social intention relies on the integration of these kinematic parameters that are implicitly perceived in the grasping action. However, as underlined by Obhi (2012), in these experiments the choice set of possible intentions to be discriminate is experimentally constrained. It has been shown that humans can categorise social and non-social motor actions (Manera et al., 2011; Sartori et al., 2011), but this does not precisely validate that they implicitly detect social intention from movement kinematics. It may then be possible that an observer explicitly distinguishes movements driven by different intentions without the necessity to perceive what precise intention supports these actions and to use it in cooperative tasks. Whether humans can take advantage of the kinematics variations induced by a social interaction context for their own action, which would be of particular relevance in most of the social contexts, remains then, an issue that needs to be properly addressed.

In this respect, Manera, Del Giudice, Bara, Verfaillie, and Becchio (2011) showed that the perception of a movement performed with a communicative intention could prepare the perceiver for being involved in social interaction. In particular, when facing point-light displays of two moving agents, the perception of the second agent is facilitated when the first one performed a communicative gesture, in comparison to a control condition comprising non-communicative gesture. Thus, the information extracted from a communicative gesture influenced the processing of biological motion, showing moreover that facilitation effects can inform about the processing of social intention. Furthermore, a switch from the classical 'third-person perspective' to a 'second-person perspective' (see Fig. 2) has recently been pointed to as a clear necessity in the field of mind-reading studies (Ansuini et al., 2014; Schilbach, 2010).

In line with this approach, Quesque, Delevoye-Turrell, and Coello (Under review) conducted an experiment to evaluate whether observers are implicitly sensitive to social intention in a cooperative task and whether this influences the planning of their own motor actions. In their study, the authors adapted the sequential motor task developed by Quesque et al. (2013) composed of a preparatory and a main action and tested dyads of naïve participants. To control for the execution of the motor sequence, auditory cues were provided through headphones to an actor and a partner seated at a table and

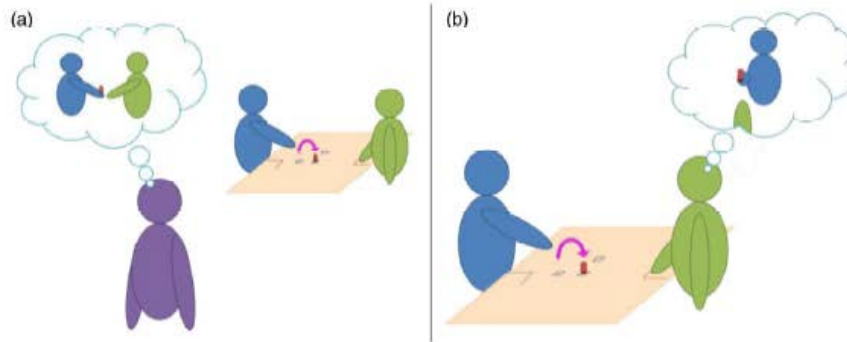


Fig. 2. Illustrations of (a) the 'third-person' and (b) the 'second-person' perspective. Classical experimental paradigms built to investigate humans' mind-reading abilities use a third-person perspective (through photos, videos, or point-light display presentation of an actor). If participants are able to correctly categorise the stimuli above the level of chance, nothing is said about their understanding of the underlying intention of the actor. Switching from a 'third person' to a 'second person' perspective would allow distinguishing between categorisation and mind-reading abilities. If social intentions can actually be grasped through the observation of movement kinematics in a cooperative task, participants' behaviours should be influenced (facilitation or interference effect) in consequence.

facing each other. Depending on the cue, either the actor or the partner had to perform the main action (i.e. displace a wooden dowel from a central to a lateral location as fast as possible). As this was the case in previous studies, before performing the main action the actor had to perform a preparatory action consisting of moving the wooden dowel from a nearby to the central location in response to a first auditory cue. This first cue could inform the actor about who will make the upcoming main action (the actor herself: 'moi' –myself, or the partner: 'lui' –the other; 50% of the random trials) or could be non-informative ('prêt' –ready; 50% of the random trials). The partner always received non-informative cues ('prêt' –ready; 100% of the random trials). Confirming previous reports, the authors found that actors took more time to initiate their preparatory action and executed the reach-to-grasp movement with greater amplitude when placing the object for their partner (Quesque & Coello, 2014). The most striking finding, however, was that the partners showed a facilitation effect when performing the main action after the actors executed the preparatory action driven by a social intention ('lui' –the other condition) compared to when performing it after the actor executed the preparatory action driven by a non-social intention, and despite the partners receiving consistently neutral information ('prêt' –ready). Then, these results revealed that the partners not only produced different motor responses depending on perceived kinematic patterns, but that they were also able to take advantage of those movement signatures so as to produce more efficient main actions. This indicates that the detection of subtle kinematic variations in a social context could prime the perceiver to prepare for social interaction and anticipate appropriate motor responses.

Finally, it is worth noting that all participants remained unaware of these effects, which supports the idea that the perception of social intention from action kinematics relies on low-level mechanisms and does not necessarily involve conscious inferences processes (Gallagher, 2008).

Grasping social intention from social interactions

On the basis of the experimental evidences detailed above, it can be postulated that the understanding of others' social intention is linked to our own motor system. Namely, this is because I am (or not) induced to perform a certain behaviour that I can spontaneously figure out the social scope of my partner's motor action. In agreement with this framework, it has been shown that motor brain areas broadly contribute to perceptual predictions from observed motor actions and that action understanding and action preparation are supported by common processes (Chaminade, Meary, Orliaguet, & Decety, 2001; Filimon, Nelson, Hagler, & Sereno, 2007; Newman-Norlund, van Schie, van Zuijlen, & Bekkering, 2007). Through everyday experiences, situated conceptualisations grounded in perceptual and motor systems are stored in memory (Barsalou, 2008) and as a result of the repeated associations between actions and their effects, the mere perception of a given action can lead to automatic pattern completion from which emerges the meaning (Barsalou, 2013; Paulus, 2011). At the behavioural level for example, predictive eyes movements studies have revealed that humans can anticipate and look at the end of a motor action with a high accuracy, long before the action was entirely executed (Ambrosini, Costantini, & Sinigaglia, 2011; Elsner, Falck-Ytter, & Gredebäck, 2012;

Flanagan & Johansson, 2003; Rotman, 2006). Furthermore, the visual perception of an identical action could activate specifically motor representations depending of the temporal and contextual characteristics of the situation (González-Perilli & Ellis, 2015), requiring or not a complementary collaborative action from the perceiver (Sartori, Buccioni, & Castiello, 2013; Sartori, Cavallo, Buccioni, & Castiello, 2011, 2012). The direct perception of the motor actions of another person could then drive a behavioural response and elicit related internal states, allowing the perceiver to subsequently understand the intentions behind these actions. Such a mechanism can easily explain the fact that humans adapt very quickly and involuntarily their reactions to the actual private intention of a partner (e.g. to compete), even if they were explicitly informed that the partner follows an opposite goal (e.g. to cooperate, Becchio et al., 2008a). It seems then that the implicit processing of social variations embedded in motor features contributes to the activation of adapted responses and spontaneously informs the perceiver about the social demand. It is, however, interesting to note that this process could be modulated in function of the social characteristics (e.g. group membership, Gallagher & Varga, 2014) and particularly in function of the level of intimacy with the other person (Fitzsimons & Bargh, 2003; Shah, 2003) as suggested by the literature concerning the phenomenon of 'goal contagion'.

Conclusion

As previously mentioned, Jacob and Jeannerod (2005) postulated that observing the movement performed by someone else allows the observer to represent the actor's motor intention but will not allow her to access to the actor's social intention, because different social intentions can be associated with the very same motor intention. The studies discussed in this article challenge this view by showing that the execution of a same motor intention subtly varies in function with the social context in which it is performed. In particular, it has been detailed here that the kinematic characteristics of an object-oriented motor action are modulated by the proximity of conspecifics, and exaggerated when the actor endorse a social intention. Besides, we reported experimental evidences suggesting that other bodies' characteristics are implicitly taken into account when we behave in a social context, probably to include in the motor productions implicit communicative information. Finally, we mentioned the last experimental evidence concerning this issue and showed that naïve observers do not only perceive these informative social cues but are also able to implicitly take advantage of them for their own motor performances. Considered together, our ability to predict others' actions and ascribe intention and mental states to others seems

to be highly grounded in the interactions between our body and the social environment. It is, however, important to note that if it is possible to perceive others' private goals from their own actions, there is no experimental evidence yet showing that it would be possible to access to their beliefs. Apperly and Butterfill (2009) proposed a two systems account of theory of mind. A first inflexible system, which would be involved in fast and efficient attributions in response to others behaviours, and a second slower system, which would support more abstract and deliberate inferences. The literature reviewed so far strongly supports that the first inflexible system depends on embodied processing. Whether this is also the case for the second slower system remains an open question for future research.

Conflict of interest and funding

The authors have not received any funding or benefits from industry or elsewhere to conduct this study.

References

- Aarts, H., Gollwitzer, P. M., & Hassin, R. R. (2004). Goal contagion: Perceiving is for pursuing. *Journal of Personality and Social Psychology*, 87, 23–37. doi: 10.1037/0022-3514.87.1.23.
- Allison, T., Puce, A., & Mc Carthy, G. (2000). Social perception from visual cues: Role of the STS region. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 267–278.
- Ambrosini, E., Costantini, M., & Sinigaglia, C. (2011). Grasping with the eyes. *Journal of Neurophysiology*, 106, 1437–1442. doi: 10.1152/jn.00118.2011.
- Ansuini, C., Cavallo, A., Bertone, C., & Becchio, C. (2014). The visible face of intention: Why kinematics matters. *Frontiers in Psychology*, 5, 815. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00815.
- Argyle, M., & Cook, M. (1976). *Gaze and mutual gaze*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Apperly, I. A., & Butterfill, S. A. (2009). Do humans have two systems to track beliefs and belief-like states? *Psychological Review*, 116, 953–970.
- Barresi, J., & Moore, C. (1996). Intentional relations and social understanding. *Behavioral and Brain Sciences*, 19, 107–154.
- Barsalou, L. W. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and Cognitive Processes* 18, 513–562.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093639.
- Barsalou, L. W. (2013). Mirroring as pattern completion inferences within situated conceptualizations. *Cortex*, 49, 2951–2953. doi: 10.1016/j.cortex.2013.06.010.
- Becchio, C., Bertone, C., & Castiello, U. (2008). How the gaze of others influences object processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 254–258. doi: 10.1016/j.tics.2008.04.005.
- Becchio, C., Sartori, L., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2008a). Both your intention and mine are reflected in the kinematics of my reach-to-grasp movement. *Cognition*, 106, 894–912. doi: 10.1016/j.cognition.2007.05.004.
- Becchio, C., Sartori, L., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2008b). The case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde: A kinematic study on

- social intention. *Consciousness and Cognition*, 17, 557–564. doi: 10.1016/j.concog.2007.03.003.
- Becchio, C., Sartori, L., & Castiello, U. (2010). Toward you: The social side of actions. *Current Directions in Psychological Science*, 19, 183–188. doi: 10.1177/0963721410370131.
- Boucher, J.-D., Pattacini, U., Lelong, A., Bailly, G., Elisei, F., Fagel, S., et al. (2012). I reach faster when I see you look: Gaze effects in human–human and human–robot face-to-face cooperation. *Frontiers in Neurobotics*, 6, 3. doi: 10.3389/fnbot.2012.00003.
- Brass, M., Bekkering, H., Wohlschläger, A., & Prinz, W. (2000). Compatibility between observed and executed finger movements: Comparing symbolic, spatial, and imitative cues. *Brain and Cognition*, 44, 124–143. doi: 10.1006/brcg.2000.1225.
- Chaminade, T., Méary, D., Orliaguet, J.-P., & Decety, J. (2001). Is perceptual anticipation a motor simulation? A PET study. *Neuroreport*, 12, 3669–3674.
- Chartrand, T. L., & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: The perception–behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76, 893–910.
- Chieffo, S., Iachini, T., Iavarone, A., Messina, G., Viggiano, A., & Monda, M. (2014). Flanker interference effects in a line bisection task. *Experimental Brain Research*, 232, 1327–1334. doi: 10.1007/s00221-014-3851-y.
- Cleret de Langavant, L., Remy, P., Trinkler, I., McIntyre, J., Dupoux, E., Berthoz, A., et al. (2011). Behavioral and neural correlates of communication via pointing. *PLoS One*, 6, e17719. doi: 10.1371/journal.pone.0017719.
- Cleret de Langavant, L., Trinkler, I., Remy, P., Thiriaux, B., McIntyre, J., Berthoz, A., et al. (2012). Viewing another person's body as a target object: A behavioural and PET study of pointing. *Neuropsychologia*, 50, 1801–1813.
- De Stefani, E., Innocenti, A., Secchi, C., Papa, V., & Gentilucci, M. (2013). Type of gesture, valence, and gaze modulate the influence of gestures on observer's behaviors. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 542. doi: 10.3389/fnhum.2013.00542.
- De Vignemont, F., & Haggard, P. (2008). Action observation and execution: What is shared? *Social Neuroscience*, 3, 421–433. doi: 10.1080/17470910802045109.
- Elsner, C., Falck-Ytter, T., & Gredebäck, G. (2012). Humans anticipate the goal of other people's point-light actions. *Frontiers in Psychology*, 3, 120. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00120.
- Ferri, F., Campione, G. C., Dalla Volta, R., Gianelli, C., & Gentilucci, M. (2011). Social requests and social affordances: How they affect the kinematics of motor sequences during interactions between conspecifics. *PLoS One*, 6, e15855. doi: 10.1371/journal.pone.0015855.
- Filimon, F., Nelson, J. D., Hagler, D. J., & Sereno, M. I. (2007). Human cortical representations for reaching: Mirror neurons for execution, observation, and imagery. *Neuroimage*, 37, 1315–1328.
- Fitzsimons, G. M., & Bargh, J. A. (2003). Thinking of you: Nonconscious pursuit of interpersonal goals associated with relationship partners. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84, 148–164.
- Flanagan, J. R., & Johansson, R. S. (2003). Action plans used in action observation. *Nature*, 424, 769–771.
- Gallagher, S. (2008). Direct perception in the intersubjective context. *Consciousness and Cognition*, 17, 535–543. doi: 10.1016/j.concog.2008.03.003.
- Gallagher, S., & Varga, S. (2014). Social constraints on the direct perception of emotions and intentions. *Topoi*, 33, 185–199. doi: 10.1007/s11245-013-9203-x.
- Gallese, V. (2003). The manifold nature of interpersonal relations: The quest for a common mechanism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358, 517–528.
- George, N., & Conty, L. (2008). Facing the gaze of others. *Clinical Neurophysiology*, 38, 197–207. doi: 10.1016/j.neucli.2008.03.001.
- Georgiou, I., Becchio, C., Glover, S., & Castiello, U. (2007). Different action patterns for cooperative and competitive behaviour. *Cognition*, 102, 415–433. doi: 10.1016/j.cognition.2006.01.008.
- Gergely, G., Nadasdy, Z., Csibra, G., & Biro, S. (1995). Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition*, 56, 165–193.
- Gianelli, C., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2013). Acting in perspective: The role of body and language as social tools. *Psychological Research*, 77, 40–52. doi: 10.1007/s00426-011-0401-0.
- Goldman, A., & de Vignemont, F. (2009). Is social cognition embodied? *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 154–159. doi: 10.1016/j.tics.2009.01.007.
- González-Perilli, F., & Ellis, R. (2015). I don't get you. Action observation effects inverted by kinematic variation. *Acta Psychologica*, 157, 114–121. doi: 10.1016/j.actpsy.2015.02.010.
- Hari, R., & Kujala, M. V. (2009). Brain basis of human social interaction: From concepts to brain imaging. *Physiological Reviews*, 89, 453–479. doi: 10.1152/physrev.00041.2007.
- Hassin, R. R., Aarts, H., & Ferguson, M. J. (2005). Automatic goal inferences. *Journal of Experimental Social Psychology*, 41, 129–140. doi: 10.1016/j.jesp.2004.06.008.
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, 57, 243–259.
- Hermesdörfer, J., Hentze, S., & Goldenberg, G. (2006). Spatial and kinematic features of apraxic movement depend on the mode of execution. *Neuropsychologia*, 44, 1642–1652. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.023.
- Hermesdörfer, J., Li, Y., Randerath, J., Goldenberg, G., & Johannsen, L. (2012). Tool use without a tool: Kinematic characteristics of pantomiming as compared to actual use and the effect of brain damage. *Experimental Brain Research*, 218, 201–214. doi: 10.1007/s00221-012-3021-z.
- Innocenti, A., De Stefani, E., Bernardi, N. F., Campione, G. C., & Gentilucci, M. (2013). Gaze direction and request gesture in social interactions. *PLoS One*, 7, e36390. doi: 10.1371/journal.pone.0036390.
- Jacob, P. (2013). Embodied cognition, communication and the language faculty. In Y. Coello, & A. Bartolo (Eds.), *Language and action in cognitive neuroscience* (pp. 3–29). New York: Psychology Press.
- Jacob, P., & Jeannerod, M. (2005). The motor theory of social cognition: A critique. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 21–25. doi: 10.1016/j.tics.2004.11.003.
- Kilner, J. M., Paulignan, Y., & Blakemore, S. J. (2003). An interference effect of observed biological movement on action. *Current Biology*, 13, 522–525.
- Klinke, C. L. (1986). Gaze and eye contact: A research review. *Psychological Bulletin*, 100, 78–100.
- Langton, S. R. H., Watt, R. J., & Bruce, V. (2000). Do the eyes have it? Cues to the direction of social attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 50–59.
- Lewkowicz, D., Delevoeye-Turrell, Y., Bailly, D., Andry, P., & Gaussier, P. (2013). Reading motor intention through mental imagery. *Adaptive Behavior*, 21, 315–327.
- Liepelt, R., Cramon, D. Y. V., & Brass, M. (2008). What is matched in direct matching? Intention attribution modulates motor priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 578–591. doi: 10.1037/0096-1523.34.3.578.

- Long, D., & Golding, J. (1993). Superordinate goal inferences: Are they automatically generated during comprehension? *Discourse Processes*, 16, 55–74.
- Maguinness, C., Setti, A., Roudaia, E., & Kenny, R. A. (2013). Does that look heavy to you? Perceived weight judgment in lifting actions in younger and older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 795. doi: 10.3389/fnhum.2013.00795.
- Mainwaring, B., Tversky, B., Ohgishi, M., & Schiano, D. J. (2003). Descriptions of simple spatial scenes in English and Japanese. *Spatial Cognition and Computation*, 3, 3–42.
- Manera, V., Becchio, C., Cavallo, A., Sartori, L., & Castiello, U. (2011). Cooperation or competition? Discriminating between social intentions by observing prehensile movements. *Experimental Brain Research*, 211, 547–556. doi: 10.1007/s00221-011-2649-4.
- Manera, V., Del Giudice, M., Bara, B. G., Verfaillie, K., & Becchio, C. (2011). The second-agent effect: Communicative gestures increase the likelihood of perceiving a second agent. *PLoS One*, 6, e22650. doi: 10.1371/journal.pone.0022650.
- Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., Jeannerod, M., Athenes, S., & Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 41, 365–378. doi: 10.1037/h0084157.
- McAleer, P., & Pollick, F. E. (2008). Understanding intention from minimal displays of human activity. *Behavior Research Methods*, 40, 830–839. doi: 10.3758/BRM.40.3.830.
- Méary, D., Chary, C., Palluel-Germain, R., & Orliaguet, J.-P. (2005). Visual perception of writing and pointing movements. *Perception*, 34, 1061–1067. doi: 10.1068/p3388.
- Meltzoff, A. N. (1995). Understanding the intentions of others: re-enactment of intended acts by 18-month-old children. *Developmental Psychology*, 31, 838–850.
- Meltzoff, A. N., & Gopnik, A. (1993). The role of imitation in understanding persons and developing theories of mind. In S. Baron-Cohen, & H. Tager-Flusberg (Eds.), *Understanding other minds: Perspectives from autism* (pp. 335–66). Oxford: Oxford University Press.
- Meulenbroek, R. G. J., Bosga, J., Hulstijn, M., & Miedl, S. (2007). Joint action coordination in transferring objects. *Experimental Brain Research*, 180, 333–343.
- Newman-Norlund, R. D., van Schie, H. T., van Zuijlen, A. M., & Bekkering, H. (2007). The mirror neuron system is more active during complementary compared with imitative action. *Nature Neuroscience*, 10, 817–818. doi: 10.1038/nn1911.
- Newton, D. A., Engquist, G., & Bois, J. (1977). The objective basis of behavior units. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35, 847–862.
- Obhi, S. S. (2012). The amazing capacity to read intentions from movement kinematics. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 162. doi: 10.3389/fnhum.2012.00162.
- Ondobaka, S., de Lange, F. P., Newman-Norlund, R. D., Wiemers, M., & Bekkering, H. (2011). Interplay between action and movement intentions during social interaction. *Psychological Science*, 23, 30–35. doi: 10.1177/0956797611424163.
- Patel, D., Fleming, S. M., & Kilner, J. M. (2012). Inferring subjective states through the observation of actions. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 279, 4853–4860. doi: 10.1098/rspb.2012.1847.
- Paulus, M. (2011). Action mirroring and action understanding: An ideomotor and attentional account. *Psychological Research*, 76, 760–767. doi: 10.1007/s00426-011-0385-9.
- Poynor, D. V., & Morris, R. K. (2003). Inferred goals in narratives: Evidence from self-paced reading, recall, and eye movements. *Journal of Experimental Psychology – Learning Memory and Cognition*, 29, 3–9.
- Quesque, F., & Coello, Y. (2014). For your eyes only: Effect of confederate's eye level on reach-to-grasp action. *Frontiers in Psychology*, 5, 1407. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01407.
- Quesque, F., Lewkowicz, D., Delevoeye-Turrell, Y. N., & Coello, Y. (2013). Effects of social intention on movement kinematics in cooperative actions. *Frontiers in Neurobotics*, 7, 14. doi: 10.3389/fnbot.2013.00014.
- Qureshi, A. W., Apperly, I. A., & Samson, D. (2010). Executive function is necessary for perspective selection, not level-1 visual perspective calculation: Evidence from a dual-task study of adults. *Cognition*, 117, 230–236. doi: 10.1016/j.cognition.2010.08.003.
- Richerson, P. J., & Boyd, R. (1998). The evolution of human ultra-sociality. In I. Eibl-Eibesfeldt, & F. Salter (Eds.), *Ideology, warfare, and indoctrinability* (pp. 71–95). New York: Bergham Books.
- Rimé, B., Boulanger, B., & Laubin, P. (1985). The perception of interpersonal emotions originated by patterns of movement. *Motivation and Emotion*, 9, 241–260.
- Rotman, G. (2006). Eye movements when observing predictable and unpredictable actions. *Journal of Neurophysiology*, 96, 1358–1369. doi: 10.1152/jn.00227.2006.
- Runeson, S., & Frykholm, G. (1983). Kinematic specification of dynamics as an informational basis for person-and-action perception: Expectation, gender recognition, and deceptive intention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 585.
- Samson, D., Apperly, I. A., Braithwaite, J., & Andrews, B. (2010). Seeing it their way: Evidence for rapid and involuntary computation of what other people see. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(5), 1255–1266.
- Sartori, L., Becchio, C., Bara, B. G., & Castiello, U. (2009). Does the intention to communicate affect action kinematics? *Consciousness and Cognition*, 18, 766–772. doi: 10.1016/j.concog.2009.06.004.
- Sartori, L., Becchio, C., & Castiello, U. (2011). Cues to intention: The role of movement information. *Cognition*, 119, 242–252. doi: 10.1016/j.cognition.2011.01.014.
- Sartori, L., Buccioni, G., & Castiello, U. (2013). When emulation becomes reciprocity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8, 662–669. doi: 10.1093/scan/nss044.
- Sartori, L., Cavallo, A., Buccioni, G., & Castiello, U. (2011). Corticospinal excitability is specifically modulated by the social dimension of observed actions. *Experimental Brain Research*, 211, 557–568. doi: 10.1007/s00221-011-2650-y.
- Sartori, L., Cavallo, A., Buccioni, G., & Castiello, U. (2012). From simulation to reciprocity: The case of complementary actions. *Social Neuroscience*, 7, 146–158. doi: 10.1080/17470919.2011.586579.
- Schilbach, L. (2010). A second-person approach to other minds. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 449–449. doi: 10.1038/nrn2805-cl.
- Scholl, B. J., & Tremoulet, P. D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in cognitive sciences*, 4, 299–309.
- Sebanz, N., Knoblich, G., & Prinz, W. (2003). Representing others' actions: Just like one's own? *Cognition*, 88, B11–B21.
- Senju, A., & Johnson, M. H. (2009). The eye contact effect: Mechanisms and development. *Trends in Cognitive Science*, 13, 127–134. doi: 10.1016/j.tics.2008.11.009.
- Shah, J. Y. (2003). The motivational looking glass: How significant others implicitly affect goal appraisals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85, 424–439.
- Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2000). Perception of animacy from the motion of a single object. *Perception*, 29, 943–951. doi: 10.1068/p3101.

- Tversky, B., & Martin Hard, B. (2009). Embodied and dis-embodied cognition: Spatial perspective taking. *Cognition*, 110, 124–129.
- Vallacher, R. R., & Wegner, D. M. (1987). What do people think they're doing? Action identification and human behavior. *Psychological Review*, 94, 3–15.
- Wegner, D. M., & Vallacher, R. R. (1986). Action identification. In R. M. Sorrentino, & E. T. Higgins (Eds.), *Handbook of motivation and cognition: Foundations of social behavior* (pp. 550–582). New York: Guilford Press.
- Wilson, E. O. (1975). *Sociobiology: The new synthesis*. Cambridge: Harvard University Press.

***Yann Coello**
Cognitive and Affective Sciences Laboratory-SCALab
UMR CNRS 9193
University of Lille
59653 Villeneuve d'Ascq, France
Email: Yann.Coello@univ.lille3.fr

Résumé

Cette thèse s'inscrit dans une approche incarnée de la cognition sociale, selon laquelle la capacité à comprendre les états mentaux d'autres individus ne nécessite aucune inférence mais repose plutôt sur l'expérience immédiate des informations sensori-motrices perçues lors d'interactions sociales. D'importantes limites ont été formulées à l'encontre de cette approche. Il est notamment considéré qu'elle ne peut rendre compte de phénomènes dits de « hauts niveaux » de mentalisation, comme l'inférence d'intentions sociales, puisqu'il n'existe pas de relations systématiques entre ces dernières et les systèmes de la perception et de l'action. A travers les études de cette thèse, nous avons tout d'abord mis en évidence des altérations systématiques de la cinématique de mouvements volontaires selon les intentions sociales poursuivies. Précisément, lorsqu'une action est produite avec l'intention de servir à un partenaire, ses caractéristiques spatio-temporelles sont amplifiées. Ensuite, nous avons démontré que ces déformations cinématiques étaient fonction des propriétés physiques, et particulièrement de la hauteur des yeux du partenaire. Enfin, nos résultats montrent que ces déformations cinématiques sont implicitement traitées lors d'interactions sociales et qu'elles entraînent l'inférence spontanée d'intention sociale. De façon intéressante, la capacité des participants à accéder à ces informations privées à partir de variations cinématiques était fortement liée à leurs capacités explicites de mentalisation. Ainsi, cette thèse fournit les premières évidences expérimentales soutenant la possibilité d'accéder spontanément aux intentions sociales d'autres personnes à partir de processus perceptifs et moteurs.

Mots-clés : cognition sociale, cognition incarnée, perception, action, intention

Abstract

This thesis assumes a grounded approach to social cognition, which defends that our abilities to understand others' mental states rely on our immediate experience of sensori-motor informations in social interactions and do not need any inference processes. Some critical theoretical limits have been addressed to this approach to social cognition. Typically, it is considered that this conception can not explain high order mentalization, as, for example, the inference of social intentions, because there are not systematic links between those cognitive constructs and the systems of perception and action. Through the studies of this thesis, we have in a first time showed that the kinematics of voluntary movements are influenced by the type of social intention that is endorsed by participants. Precisely, when an action is produced for a partner, its spatio-temporal characteristics are amplified. Then, we have demonstrated that these kinematic variations are influenced by the physical properties of the partner, and particularly by the eyes' level. Finally, our results showed that these typical kinematic variations are implicitly processed during social interaction and that they can trigger spontaneous social intention attribution. Interestingly, the ability of participants to access others' mental states from motor action variations is strongly related to their explicit mentalizing performances. In sum, this thesis provides the first experimental evidences supporting the possibility to spontaneously access to others' social intentions from perceptive and motor processes.

Keywords : social cognition, embodied cognition, perception, action, intention